

Aus dem Institut für Bodenkunde und Bodenerhaltung
der Justus Liebig-Universität Gießen

Direktor: Professor Dr. E. Schönhals

**Der Einfluß des Tieflockerns und Tiefpflügens
auf die physikalischen Eigenschaften und den
Wasserhaushalt verschiedener Böden Hessens**

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Landwirtschaftlichen Fakultät
der Justus Liebig-Universität
Gießen

eingereicht von

Diplom-Agraringenieur Athanasios Wourtsakis

geboren in Prosotsani/Griechenland

Gießen 1971



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41545921_0049

Aus dem Institut für Bodenkunde und Bodenerhaltung
der Justus Liebig-Universität Gießen

Direktor: Professor Dr. E. Schönhals

**Der Einfluß des Tieflockerns und Tiefpflügens
auf die physikalischen Eigenschaften und den
Wasserhaushalt verschiedener Böden Hessens**

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Landwirtschaftlichen Fakultät
der Justus Liebig-Universität
Gießen

eingereicht von

Diplom-Agraringenieur Athanasios Wourtsakis

geboren in Prosotsani/Griechenland

Gießen 1971



Dekan:	Prof. Dr. R. Waßmuth
1. Berichterstatter:	Prof. Dr. E. Schönhals
2. Berichterstatter:	Prof. Dr. H. Weber

Tag der mündlichen Prüfung: 27. Juli 1971

Gedruckt mit Unterstützung des Deutschen
Akademischen Austauschdienstes.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Einführung	4
2 Erfahrungen mit Tieflockern und Tiefpflügen	
- Ein Literaturüberblick -	6
2.1 Tieflockern	6
2.2 Tiefpflügen	11
3 Angewandte Untersuchungsmethoden	13
4 Untersuchungsergebnisse auf verschiedenen Standorten	20
4.1 Tiefpflugversuch auf Parabraunerde, erodierte Parabraunerde und Pararendzina bei Heldenbergen	20
4.1.1 Standortverhältnisse und Versuchsdurchführung	20
4.1.2 Die Witterung während des Untersuchungszeitraumes	23
4.1.3 Wirkung des Tiefumbruchs auf die Bodeneigenschaften	23
4.1.3.1 Chemische Daten	23
4.1.3.2 Porosität	25
4.1.3.3 Bodenfestigkeit	28
4.1.3.4 Bodenfeuchteverlauf	39
4.1.4 Zusammenfassung	47
4.2 Tiefpfluganlage auf Parabraunerde beim Marienhof	48
4.2.1 Standortverhältnisse und Versuchsanlage	48
4.2.2 Die Witterung während des Untersuchungszeitraumes	50
4.2.3 Wirkung des Tiefumbruchs auf die Bodeneigenschaften	51
4.2.3.1 Chemische Daten	51
4.2.3.2 Porosität	51
4.2.3.3 Bodenfeuchteverlauf	54
4.2.4 Zusammenfassung	57

4.3	Tiefenbearbeitungsversuch auf einer sehr schluffreichen pseudovergleyten Parabraunerde bei Beberbeck	58
4.3.1	Standortverhältnisse	58
4.3.2	Versuchsanlage	61
4.3.3	Die Witterung während des Untersuchungszeitraumes	62
4.3.4	Wirkung der Tiefenbearbeitung auf die Bodeneigenschaften	65
4.3.4.1	Chemische Daten	65
4.3.4.2	Porosität	70
4.3.4.3	Bodenfeuchteverlauf	77
4.3.5	Zusammenfassung	84
4.4	Dampfpflug-Melioration auf einem Pseudogley bei Udenborn	85
4.4.1	Standortverhältnisse und Versuchsanlage	85
4.4.2	Die Witterung während des Untersuchungszeitraumes	90
4.4.3	Wirkung der Tiefenbearbeitung auf die Bodeneigenschaften	91
4.4.3.1	Chemische Daten	91
4.4.3.2	Porosität	93
4.4.3.3	Bodenfestigkeit	97
4.4.3.4	Bodenfeuchteverlauf	99
4.4.3.5	Ertrag	103
4.4.4	Zusammenfassung	104
4.5	Tieflockerungsversuch auf Pseudogley bei Bleidenrod	105
4.5.1	Standortverhältnisse	105
4.5.2	Versuchsanlage	108
4.5.3	Veränderung der physikalischen Eigenschaften durch die Lockerung	109
4.5.3.1	Porosität	109
4.5.3.2	Bodenfestigkeit	109

4.5.3.3	Bodenfeuchtigkeit	112
4.5.4	Zusammenfassung	112
4.6	Tiefpfluganlage auf Gley-Pseudogley bei Heppenheim	113
4.6.1	Standortverhältnisse und Versuchs- anlage	113
4.6.2	Wirkung des Tiefumbruchs auf die Bodeneigenschaften	120
4.6.2.1	Chemische Daten	120
4.6.2.2	Porosität	121
4.6.2.3	Infiltration	124
4.6.2.4	Bodenfeuchteverlauf	127
4.6.3	Zusammenfassung	130
5	Zusammenfassung der Ergebnisse	131
6	Literaturverzeichnis	137

1. Einführung

Parabraunerden und Pseudogleye mit ihren Übergangsformen sind in den Lößgebieten Deutschlands weit verbreitet. Ihr landwirtschaftlicher Wert ist aber sehr unterschiedlich. Während die Pseudogleye als geringwertig bis höchstens mittelmäßig zu beurteilen sind, gehören die Parabraunerden häufig zu den Spitzenertragsböden. Trotzdem können auch die Parabraunerden gewisse ungünstige Eigenschaften aufweisen. Genannt seien die Verschlammungsneigung ihrer Krume, die häufige Verdichtung des A_1 -Horizontes und die allgemein langsame Abtrocknung im Frühjahr. Die Porosität des B_t -Horizontes, von der i.a. auch der Grad der Pseudovergleyung abhängt, ist sehr unterschiedlich, so daß zwischen Parabraunerden und Pseudogleyen alle Übergänge anzutreffen sind.

Die Pseudogleye, die eine unterschiedliche genetische Entwicklung aufweisen, zeichnen sich durch zeitweilige Vernässung, Luftmangel, langsame Erwärmung und erschwerte Befahrbarkeit aus. Diese Nachteile sind besonders im Frühjahr sehr nachteilig, da sie die Bestellung verzögern und das Pflanzenwachstum hemmen. Dagegen staut sich während der Vegetationsperiode kaum Wasser in der Nähe der Oberfläche - höchstens zeitweilig in niederschlagsreichen Perioden -, da es durch die Evaporation und Transpiration verbraucht wird. In Trockenperioden kann der Pflanzenbestand infolge des nicht oder nur mangelhaft durchwurzelten dichten Unterbodens sogar unter Wassermangel leiden. Die nutzbare Wasserkapazität des durchwurzelten Bodenraumes (nutzbare Wurzelraumkapazität) ist infolgedessen nicht hoch genug. Für die geringe Durchwurzelbarkeit des Unterbodens ist möglicherweise nicht nur der Luftmangel, sondern u.U. auch ein zu großer mechanischer Widerstand die Ursache.

Alle genannten Nachteile bei der Bewirtschaftung von Pseudogleyen - aber auch von Parabraunerden - führten zur Durchführung von Meliorationsverfahren. In erster Linie kam die Rohrdränung zur Anwendung. Aus zahlreichen wissenschaftlichen

Untersuchungen und Erfahrungsberichten geht hervor, daß der Erfolg dieser Maßnahme allzuoft unbefriedigend ist (MÜCKENHAUSEN et al. 1959, SCHULTE-KARRING 1960, 1963, PAPP 1963, BENECKE 1965, BECKEL 1965, LENZMANN und SCHNURRBUSCH 1965).

Bodenkundliche Erkenntnisse und die technische Entwicklung führten schließlich in der Praxis zur Anwendung von Tiefenbearbeitungsmaßnahmen wie Tieflockern und Tiefpflügen mit dem Ziel, durch die Umgestaltung des Bodengefüges den Wasser- und Lufthaushalt des Bodens und damit seine Ertragsfähigkeit und Bewirtschaftbarkeit grundlegend und nachhaltig zu verbessern (auch Gefügemelioration genannt).

Die ersten wissenschaftlichen Untersuchungen darüber, wie weit dieses Ziel durch die Tiefenbearbeitung zu erreichen ist (VALTMANN 1957, SCHULTE-KARRING 1957, 1963, JOHN 1963, BENECKE 1965, MEIMBERG 1967), erbrachten keine erschöpfenden, sondern sich z.T. widersprechende Ergebnisse. Daher erschien es notwendig, solche Untersuchungen zu intensivieren.

Im Institut für Bodenkunde und Bodenerhaltung wurden von Herrn Dr. Harrach seit 1964 im Rahmen eines Forschungsauftrages des Landeskulturamtes Wiesbaden über "Bodennutzbarkeit" Untersuchungen über die Wirkung des Tiefumbruchs und der Tieflockerung auf verschiedenen Böden durchgeführt. von 1966 bis 1969 bearbeitete außerdem das Institut für Bodenkunde und Bodenerhaltung zusammen mit dem Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung und im Einvernehmen mit dem Landeskulturamt Wiesbaden ein Forschungsvorhaben über "Meliorationsmaßnahmen in der Flurbereinigung", das vom Bundesminister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten finanziell gefordert wurde. Im Frühjahr 1968 erhielt ich den Auftrag, die im Institut laufenden Arbeiten über die Tiefenbearbeitung zu betreuen und die bisher erzielten Ergebnisse auszuwerten.

Die vorliegende Abhandlung beschäftigt sich mit dem Einfluß der Tiefenbearbeitung auf die physikalischen Eigenschaften verschiedener Böden bei unterschiedlichen Bedingungen.

Untersucht wurden vor allem verschiedene Parabraunerden und Pseudogleye und ihre Übergangsformen in verschiedenen Teilen von Hessen (Abb. 1). Es handelt sich dabei immer um Standorte, auf denen Böden mit und ohne Tiefenbearbeitung vergleichend untersucht werden konnten, wobei der Zeitpunkt der Meliorationsdurchführung auf den einzelnen Standorten unterschiedlich weit zurücklag, so daß auch Aussagen über die Wirkungsdauer der Tiefenbearbeitung zu erwarten waren.

2. Erfahrungen mit Tieflockern und Tiefpflügen

- Ein Literaturüberblick -

2.1 Tieflockern

Der Gedanke der tiefen Auflockerung des Bodens ist nicht neu. Nach Angaben von MERBITZ (1968) begann die Tieflockerung bereits 1670 in England. Es wurde eine einfache Grabengabel, der sog. "the miner" (Minierpflug) verwendet, um die Wirkung der Dränung in dichten Böden zu verbessern. Nach RÜBELNSAM und RAUHE (1968) kamen um 1800 die ersten Lockerungsgeräte von England nach Deutschland. Seit dieser Zeit ist in der Literatur immer wieder von Erfolgen, aber auch von Mißerfolgen bei der Tieflockerung berichtet worden.

Von NITZSCH (1936) konnte z.B. durch die Untergrundlockerung auf allgemeinverdichteten Böden Ertragssteigerungen von durchschnittlich 14,1 % erzielen, auf Böden mit nicht verdichtetem Unterboden war dagegen die Untergrundlockerung wirkungslos. ROEMER (1940) berichtet, daß im Mittel von 283 Tieflockerungsversuchen, die in der Zeit von 1928 bis 1939 in Verbindung mit dem RKTL und Instituten in Halle, Leipzig, Gießen und Hohenheim auf verschiedenen Böden durchgeführt wurden, durch diese Maßnahmen Mehrerträge von 19 % erzielt werden konnten.

Gute Erfolge mit der Unterbodenlockerung erzielten TEIPEL (1956) auf den stark verdichteten Lößböden des Gebietes



Abb.1. Lage der Untersuchungsstandorte (●)

um Jena-Garburg und ERMICH (1962) auf ähnlichen Böden in Thüringen.

Zehnjährige Ertragsermittlungen von RID (1959, 1960) von 35 Unterbodenlockerungsversuchen an 26 Standorten brachten auf Pseudogleyen und Gleyen Mehrerträge. Er stellte jedoch fest, daß mit der Unterbodenlockerung von Braunerden, Parabraunerden und Braunen Auenböden kaum Erfolge zu erwarten sind.

In den Jahren von 1952 bis 1960 wurde von KURON und JUNG (1962) auf einem sauren Tonschieferverwitterungsboden im Rothaargebirge ein Unterbodenkalkungsversuch durchgeführt. Die chemischen und physikalischen Untersuchungen zeigten eine Standortverbesserung durch die Tiefkalkung und Lockerung. Weniger wirksam erwies sich dabei die alleinige Oberflächenkalkung mit und ohne Unterbodenlockerung.

Schließlich sei ein Zitat von KLAPP (1967 S. 283) über die im Jahre 1954 angelegten Tieflockerungsversuche in sehr verschiedenen Böden von den extremen Graulehm-Pseudogleyen der Elbe bis zu mäßig pseudovergleyten Braunerden des Tieflandes angeführt:

"Wie nicht anders zu erwarten, waren die Wirkungsunterschiede groß. Die Auflockerung des Staukörpers war 1 - 2 Jahre nach der Gerätearbeit in einzelnen Fällen noch deutlich nachweisbar. In anderen nicht mehr, in der Regel nie sehr groß. Ein schnelleres Abtrocknen des Bodens im Frühjahr war nur selten zu beobachten. In einigen Fällen war die Durchwurzelungstiefe des Bodens deutlich vergrößert, in anderen nicht. Mehrerträge um 8 - 14% wurden in 3 von 10 Fällen bei Weizen bzw. Zuckerrüben festgestellt, wobei jedoch die Frage offenblieb, ob sie allein auf die Lockerung zurückzuführen waren. In weiteren Versuchen in Rengen wurde sowohl mit starker Krumenkalkung (100 dz je ha CaO) wie mit Einbringen von gleichen Kalkmengen in die Lockerungsrisse bis auf 60 cm Tiefe gearbeitet. Das Ergebnis war namentlich im letzteren Fall enttäuschend, auch Gründungsversuchen mit stark oder tiefwurzelnden Pflanzen (Lupinen, Steinklee, Sonnenblume)

versagten." Die Ursachen von Mißerfolgen in Rengen sehen MUCKENHAUSEN und KLAPP (1967) im dortigen Vorherrschen kaolinitreicher tertiärer Graulichme.

Die bisher angeführten Ergebnisse beziehen sich vor allem auf Bodenbearbeitungsmaßnahmen, deren Arbeitstiefe selten größer als 40 cm war. Mit dem technischen Fortschritt wurde die Lockerungstiefe auf 70 - 80 cm erhöht, um einen größeren Meliorationseffekt zu erzielen. Solche Tieflockerungen führten STEINMETZ seit 1958 in Hessen, SCHULTE-KARRING seit 1959 in Rheinland-Pfalz, GORA und SCHWABZ seit 1961 in Thüringen durch. In jüngerer Zeit (Herbst 1966) wurden Tieflockerungsversuche auch in Bayern (SCHMID und WEIGLT 1967) und in Baden-Württemberg (GLIEMROTH et al. 1968, SIDLIRAS 1969) angelegt.

In Hessen wurden durch die Initiative von STEINMETZ seit 1958 in Flurbereinigungsverfahren Tieflockerungsmaßnahmen zusammen mit einer Tiefkalkung zur Melioration von tagvernäßten Böden durchgeführt (STEINMETZ 1965, 1968). Die tiefgelockerte Fläche betrug bis 1967 480 ha.

Untersuchungen von MEIMBERG (1967) an fünf vom Landeskulturamt Wiesbaden tiefgelockerten Standorten ergaben, daß in vier Fällen der tiefgelockerte Boden (Pseudogleye und eine pseudovergleyte Parabraunerde) günstige Eigenschaften aufwies, während auf einer Parabraunerde aus Löß bereits nach einem Jahr kein Lockerungserfolg nachzuweisen war. Aber selbst auf den Standorten, auf denen nach der Lockerung günstigere bodenphysikalische Kenndaten gewonnen wurden, konnten keine Ertragssteigerungen nachgewiesen werden.

Im November begann die Landes-Lehr- und Versuchsanstalt für Weinbau, Gartenbau und Landwirtschaft, Ahrweiler, in größerem Umfang Tieflockerungsversuche auf mäßig bis stark ausgebildeten Pseudogleyen anzulegen. Über die erzielten Ergebnisse berichtete SCHULTE-KARRING in zahlreichen Arbeiten (1961, 1963 a-c, 1964, 1965, 1966, 1967 a-c, 1968 a-b, 1969, 1970 a-b), die vor allem Fragen der Geräteentwicklung und

der technischen Durchführung der Tieflockerung, das Problem der Tiefkalkung und Tiefdüngung, der zusätzlichen Dränung sowie pflanzenbauliche und weinbauliche Aspekte behandeln. Mikrobiologische Bodenuntersuchungen in den Lockerungsversuchen, die von SCHULTE-KARRING angelegt wurden, führten STRAUB (1967) und STRAUB und SCHULZ-KÖNIG (1968) durch; sie stellten eine höhere Mikrobenzahl und auch eine größere mikrobiologische Aktivität fest.

In Thüringen wurden seit 1961 mit einem im Institut für Meliorationswesen und Grünland in Jena entwickelten und von SCHWARZ und GORA (1963) sowie GORA (1963) beschriebenen Gerät und verfahren Staugleye durch Tieflockerung und Tiefkalkung melioriert. Sechsjährige Untersuchungsergebnisse von GORA (1967, 1970) lassen erkennen, daß es möglich ist, auf diese Weise die Staugleye in ihrem Luft- und Wasserhaushalt nachhaltig zu regulieren und in ihrer Ertragsleistung zu verbessern. In Übereinstimmung mit anderen Autoren (z.B. SCHULTE-KARRING 1963, STEINMETZ 1965, STEINMETZ und BRAUER 1968, KUNTZE 1967, SCHMID und WEIGELT 1967) machte er auch die Feststellung, daß in bestimmten Fällen durch die Tieflockerung die Dränung nicht zu umgehen ist. Bei mehr als 600 - 650 mm Jahresniederschlag oder bei einem stärkeren Fremdwassereinfluß bzw. bei hohen Niederschlagsdichten wird die Kombination mit der Dränung notwendig.

Im Herbst 1966 wurden im Bayern (fränkisches Keupergebiet und Südbayern) 9 Tieflockerungsversuche auf 7 Standorten angelegt. Davon liegen 6 versuche auf Pelosolen des Gipskeupers, 2 auf Pseudogleyen aus Lößlehm über Lettenkeuper und einer auf tertiärem Ton (SCHMID und WEIGELT 1967). Bodenphysikalische Untersuchungen an einigen dieser Versuche lassen eine Zunahme des Porenvolumens und eine Abnahme der Bodenfestigkeit erkennen. Aufgrund zweijähriger Ertragsermittlungen (Exkursionsführer 1970) an drei Standorten waren jedoch nur auf einigen der zahlreichen varianten deutliche Mehrerträge zu verzeichnen.

Nach Ansicht von SCHMID und WEIGELT (1967, 1970) sowie RAGEL et al. (1970) können Pseudogleye nur dann dauerhaft verbessert werden, wenn eine Kombination von mehreren Meliorationsmaßnahmen (Rohrdränung, Untergrundlockerung und Meliorationsdüngung) vorgenommen wird. Mit der Meliorationsdüngung soll eine 80 %ige Ca-, 15 %ige Mg-, 3 %ige K und 1 %ige Na-Sättigung bis 1 m Profiltiefe angestrebt werden (SCHMID 1966, 1967, 1968, 1969).

Ebenfalls im Herbst 1966 wurde bei Stuttgart (Ihringer Hof) ein Tiefenbearbeitungsversuch auf drei Böden (Parabraunerde, Parabraunerde-Pseudogley, Flachgründige Parabraunerde) angelegt. Über die Ergebnisse der bodenphysikalischen Untersuchungen und der Untersuchungen über die Durchwurzelung, den Nährstoffhaushalt und den Pflanzenertrag berichteten GLIEMEROTH et al. (1968) und SIDIRAS (1969). Hervorzuheben ist die intensivere Durchwurzelung des Unterbodens im ersten Jahr nach der Tieflockerung und die unterschiedlichen Erträge in den beiden Jahren. Während 1967 bei Winterweizen der überwiegende Teil der tiefgelockerten Varianten einen Mehrertrag und die Hälfte der Varianten einen gesicherten Mehrertrag aufwies, wurden 1968 bei Hafer nur auf wenigen Tieflockerungsvarianten gesicherte Mehrerträge ermittelt.

Schließlich seien noch die pflanzenbaulichen Untersuchungen von GRASS (1969) erwähnt, die zum Teil auf denselben Standorten wie unsere Untersuchungen durchgeführt wurden und auf die an den entsprechenden Stellen näher eingegangen wird.

2.2 Tiefpflügen

Der Tiefumbruch wurde bis Ende der fünfziger Jahre hauptsächlich auf Podsolböden (HOLLSTEIN 1960), Mooren geringer Mächtigkeit (Sandmischkultur) (BRÜNE 1948, BADEN 1954, 1957, KUNTZE 1968) und auf trockenen, grundwasserfernen Sandböden (EGERSZEGI 1956, 1960, RAUHE 1959, 1960, 1961, KUNZE 1960, 1963) mit Erfolg durchgeführt.

1960 begann STEINMETZ (STEINMETZ 1965) in Hessen Parabraunerden mit und ohne Pseudovergleyung und Pseudogleye mit Hilfe eines verstärkten Moorpfluges und später eines norwegischen Spezialpfluges etwa 80 cm tief zu pflügen. Mit dieser Maßnahme sollte neben der Verbesserung des Wasserhaushaltes auch der Tongehalt und damit die Sorptionskapazität der neuen Ackerkrume erhöht werden. Diese Zielsetzung entsprach dem damaligen Wissensstand, wonach Böden mit Tondurchschlammung als besonders ungünstig angesehen wurden. So kam z.B. JOHN (1963) in seiner Arbeit "Eigenschaften von Böden mit verdichteten Horizonten aus verschiedenen Gesteinen" zu dem Ergebnis, daß hinsichtlich des Wasser- und Lufthaushalts vergleichsweise die Parabraunerde den ungünstigsten Pflanzenstandort darstellt. Während dessen fand GROSSE (1963, 1964), daß die stark erodierte Parabraunerde aus LÖB günstigere physikalische Eigenschaften und eine höhere Ertragsfähigkeit aufweist als die nicht erodierte Parabraunerde. Diese Ergebnisse bewogen ihn zu versuchen, die Parabraunerde durch einen Tiefumbruch nachhaltig zu verbessern. Er glaubte, "durch eine Tiefkultur hauptsächlich folgende nachhaltige Veränderung zu erreichen:

- 1) Herstellung eines homogenen und vertieften Wurzelraumes mit größerer Wasserspeicherung;
- 2) Anreicherung des Tongehaltes im Oberboden um etwa 50 % und dadurch Erhöhung der Wasser- und Sorptionskapazität;
- 3) Erzielung eines weniger zur Verschlammung und zur Pflugsohlenbildung neigenden Gefüges;
- 4) Verringerung der Erosionsgefahr bei schwach geneigten Flächen"

BENECKE (1965), der den Einfluß des Tiefumbruchs auf die physikalischen Eigenschaften des ersten von GROSSE 1965 in Banteln bei Elze angelegten Versuches untersuchte, kam zu dem Schluß, daß die Verbesserung des ungünstigen Wasserhaushaltes durch den Tiefumbruch als gelungen angesehen werden kann.

ebenfalls über einen positiven Einfluß auf die physikalischen Eigenschaften einiger Parabraunerden in Niedersachsen berichten OZERATZKI (1968) und RENGGER (1968, 1970). Auch die ersten Ergebnisse eines Tiefenbearbeitungsversuches bei Stuttgart ließen das Tiefpflügen in einem sehr günstigen Licht erscheinen (GLIEMEROTH et al. 1968). Demgegenüber kommt in jüngeren Arbeiten (HARRACH und WOURTSAKIS 1969, GRASS 1969, SIDIRAS 1969, MEYER und SCHEFFER 1970 sowie SCHEFFER und MEYER 1970) zum Ausdruck, daß die Erwartungen von Tiefpflügen bei Parabraunerden bei weitem nicht immer erfüllt wurden.

3. Angewandte Untersuchungsmethoden

3.1 Gesamtporenvolumen und Porengrößenverteilung

Die Proben für die Untersuchung der Porositätsverhältnisse wurden mit Hilfe von 100 ccm fassenden Stechzylindern immer im Frühjahr entnommen, als die Wassersättigung des Bodens etwa der Feldkapazität entsprach. Nur in bestimmten Ausnahmefällen erfolgte die Probenentnahme im Herbst. Aus den charakteristischen Horizonten der Profile wurden jeweils 8 - 12 Proben entnommen, wobei größere Wurzel- und Regenwurmgänge möglichst gemieden wurden.

Die Ermittlung des Gesamtporenvolumens (GPV) erfolgte aus dem Volumengewicht (r_t) und dem spezifischen Gewicht nach der Formel:

$$GPV = \left(1 - \frac{r_t}{s}\right) \cdot 100$$

Das volumengewicht wurde durch Trocknung bei 105° C und das spezifische Gewicht in dreifacher Wiederholung nach MITSCHERLICH (1954) bestimmt.

Bodenphysikalisch und ökologisch ist nicht so sehr das GPV als vielmehr seine Verteilung auf die verschiedenen Porengrößen von Bedeutung, da Größe und Form der Poren den Wasser- und Lufthaushalt in unterschiedlicher Weise

beeinflussen (SCHACHTSCHABEL und HARTGE 1958, FRANZ 1960, FIEDLER und REISIG 1964, CZERATZKI 1966).

Die Grundlage der Porengrößenbestimmung bildet die Gleichung von BECHHOLD (zit. nach ALTEN und KULMES 1939):

$$H = \frac{2 \cdot a}{p \cdot r \cdot g}$$

wobei H: die kapillare Steighöhe

a: die Kapillaritätskonstante (für Wasser 74 dyn/cm),

p: die Dichte der Flüssigkeit (für Wasser 1 g/cm³),

r: den Radius der Kapillare und

g: die Erdbeschleunigung (981 cm/sec²) darstellen.

Da diese Gleichung nur für Kapillaren mit kreisförmigem Querschnitt gilt und solche im Boden kaum vorhanden sind, wurde von SEKERA (1938) der Begriff "Äquivalentdurchmesser" eingeführt. Ferner ermittelt man im Boden statt der kapillaren Steighöhe den Druck in cm Wassersäule, der notwendig ist, um das Wasser aus den Kapillaren zu saugen oder zu drücken. Die allgemein gebräuchliche Einteilung der Porenbereiche gibt die Tabelle 1 nach Angaben von SCHEFFER-SCHACHTSCHABEL 1966, NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR BODENFORSCHUNG 1967, MEIMBERG 1967 wieder.

Tab. 1: Einteilung der Porengrößen

Porenbezeichnung	Porendurchmesser	pF-Wert	cm WS
Große Poren			
sehr schnell			
dränende Poren	120	1,4	25
schnell			
dränende Poren	120 - 50	1,4 - 1,77	25 - 60
langsam			
dränende Poren	50 - 10	1,77-2,54	60 - 344
Mittlere Poren	10 - 0,2	2,54-4,2	344 - 15000
feine Poren	< 0,2	> 4,2	> 15000

Die Ermittlung der Porengrößenverteilung bis 10 erfolgte mittels keramischer Platten nach CZERATZKI (1958), modifiziert von KEGLER und JACHIMSKI (1968); bei den Porengrößen $< 0,2 \mu$ wurde die Druckmembranapparatur nach RICHARDS (1949) verwendet.

3.2 Bodenfeuchteuntersuchungen

unter Anwendung der gravimetrischen (Trockenschrank-) Methode wurde die Bodenfeuchte in Abständen von 14 Tagen bestimmt. Je nach Witterungsverlauf wurde jedoch dieser Zeitabstand verkürzt oder verlängert. Die Entnahme der Proben erfolgte mit einem Rillenbohrer nach FÜRKHÄUER in 5- bzw. 8-facher Wiederholung bis zu 100 cm Tiefe dezimeterweise.

Die etwa 40 - 60 g schweren Proben wurden in gut schließenden Aluminiumdosen unverzüglich ins Laboratorium transportiert, gewogen und bis zur Gewichtskonstanz bei 105°C getrocknet.

Aus der Gewichts Differenz zwischen feuchten und trockenen Proben wurde die Bodenfeuchte in Gewichtsprozenten des trockenen Bodens errechnet und durch Multiplikation mit dem Trockengewicht von 1 cm Boden (Volumengewicht oder scheinbares spezifisches Gewicht) in Volumenprozenten umgerechnet (1 Vol.% = 1 mm Wassersäule je 10 cm Bodenschicht).

Die an den einzelnen Untersuchungsterminen gefundenen Bodenfeuchtwerte sind in Form graphischer Darstellungen niedergelegt worden. Auf der Abszisse sind die Termine der Probenentnahme und auf der Ordinate die Feuchtegehalte in den verschiedenen Bodentiefen eingetragen. Gleichzeitig sind die täglichen Niederschläge in mm als schmale Säulen über der Abszisse eingezeichnet.

Über die Anwendung der gravimetrischen Feuchtebestimmung, ihre Vor- und Nachteile gegenüber anderen Meßverfahren haben u.a. ARCHELE (1961), BAIER (1952), RUSS (1963), SCHUBACH (1952), UHLIG (1951, 1955), OLBERTZ (1957), BATJER (1968) berichtet.

3.3 Bodenfestigkeit

Porositätsuntersuchungen geben zwar Auskunft über Anteil und Verteilung von Substanz- und Porenvolumen, nicht aber über den Zusammenhalt der Bodenteilchen, d.h. die Festigkeit des Gefüges oder mechanischen Bodenwiderstand.

Der Bearbeitungseffekt ist nach von BOGUSLAWSKI und LENZ (1959), SCHAFFER (1961) sowie KRÜGER (1970) wesentlich besser über den Eindringwiderstand bzw. die Abscherfestigkeit als über das Porenvolumen nachzuweisen. Unter den verschiedenen Methoden zur Charakterisierung der Strukturfestigkeit seien die Methoden nach MEYENBURG (1923), SCHÖHNE (1953), v. BOGUSLAWSKI und LENZ (1958) und SCHAFFER (1960) erwähnt.

Die Beurteilung der Wirkung der verschiedenen Bodenbearbeitungsmaßnahmen auf die Bodenfestigkeit erfolgte bei unseren Untersuchungen durch die Messung des Abscherwiderstandes mit dem Flügelbohrer nach SCHAFFER (1960) und durch die Messung des Eindringwiderstandes mit einer Druckmanometer-Sonde der Firma Goudsche Maschinenfabriek N.V., Gouda, Holland. Die Querschnittsfläche des verwendeten Druckkegels betrug $2,5 \text{ cm}^2$. Auf eine Umrechnung in kp/cm^2 wurde verzichtet.

Beide Methoden sind durch geringen Arbeitsaufwand sowohl bei der Messung als auch bei der Auswertung der Ergebnisse gekennzeichnet. Infolge der Abhängigkeit der Strukturfestigkeit vom Wassergehalt, Porenvolumen und groben Poren (v. BOGUSLAWSKI und LENZ 1958, SCHAFFER 1960, 1961, LINDNER 1963, MIREINAREWICZ 1967) erfolgten die Messungen gleichzeitig mit den Wassergehalts- und Porositätsuntersuchungen.

3.4 Infiltrationsmessungen

Eines der Hauptziele der Tiefenbearbeitung ist es, die Aufnahme und das Einsickern von Niederschlagswasser in die tieferen Bodenschichten zu erleichtern. Aus diesem Grunde wurden Infiltrationsmessungen durchgeführt, und zwar nicht nur an der Oberfläche, sondern auch auf freigelegten tieferen Horizonten.

Die Messung der Infiltrationsrate, d.h. die Wassermenge, die pro Flächen- und Zeiteinheit in den Boden eindringt und in ihm versickert, erfolgte bei unseren Untersuchungen mit Hilfe von Doppelringinfiltrometern wie folgt: Der Außenring (Durchmesser 70 cm, Höhe 30 cm) wurde 8 cm tief in den Boden gedrückt. In der Mitte dieses Ringes wurde der Innenring (Durchmesser 30 cm, Höhe 40 cm) 10 cm tief in den Boden gedrückt. Beide Ringe sind aus stabilem, verzinktem Stahlblech angefertigt. Am unteren Ende sind die Ringe von außen nach innen zugeschrägt. Um ein bevorzugtes Eindringen von Wasser längs der Ringwandungen zu verhindern, wurde der Boden entlang der Wandungen etwas festgestampft. In den beiden Ringen wurde eine Wassersäule von 3 - 4 cm Höhe aufrechterhalten. Die Wasserzufuhr zum Konstanthalten des Wasserniveaus erfolgte aus zwei kalibrierten, durchscheinenden Plastikkanistern (Abb. 2 und 3). Die aus dem Innenring versickernde Wassermenge wurde registriert. Die Versickerungszone zwischen Innen- und Außenring hat die Aufgabe, die seitliche Wasserbewegung aus dem Innenring abzuschirmen (KOPF 1965). Um Verdunstungsverluste zu vermeiden, waren die Ringe während des Messvorganges mit einer Plastikfolie abgedeckt.

Die Messung dauerte so lange, bis über eine längere Zeit konstante Wassermengen in den Boden versickerten.

Wie Untersuchungen von MUHLBAUER (1964), KOPF (1965) und SCHAMS (1967) gezeigt haben, tritt während des Messvorganges im Unterboden gewöhnlich keine volle Wassersättigung ein, weshalb mit Hilfe der Doppelringinfiltrometer-Methode der K_f -Wert nicht ermittelt werden kann. Trotzdem zeigt diese Methode gegenüber der wassergesättigten Durchlässigkeitsbestimmung in Stechzylindern große Vorteile. Durch Probenahme bedingte Fehler treten nicht auf, und die großflächigen Infiltrometer erfassen jeweils einen repräsentativen Bodenquerschnitt. Besonders in tiefgepflügten Böden werden dadurch Fehlerquellen ausgeschaltet. Gegen die Methode kann allerdings eingewendet werden, daß die Aufrechterhaltung eines konstanten Wasserspiegels über die Bodenoberfläche nicht ganz den natürlichen Verhältnissen entspricht.

1. Mariottesche Flasche
2. Innenring
3. Außenring
4. eingestellter Wasserspiegel

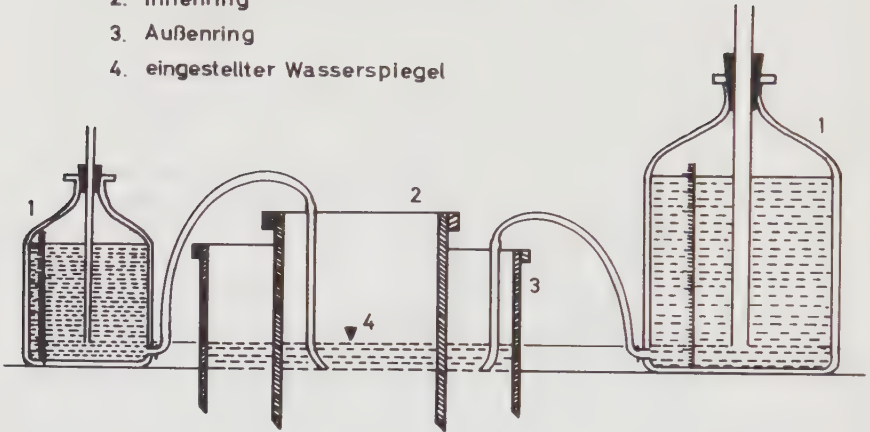


Abb. 2. Doppelringinfiltrrometer



Abb. 3: Doppelringinfiltrrometer im Einsatz

Die Klassifizierung der gemessenen Infiltrationsraten erfolgte nach KOHNKE (zit. nach BURGHARDT 1970) wie folgt:

<u>Infiltrationsklasse</u>	<u>Infiltrationsrate mm/h</u>
sehr gering	< 1
gering	1 - 5
gering bis mittel	5 - 20
mittel	20 - 63
mittel bis hoch	63 - 127
hoch	127 - 254
sehr hoch	> 254

3.5 Weitere Untersuchungsmethoden

Die Beschreibung der Bodenprofile erfolgte nach den von der Arbeitsgemeinschaft Bodenkunde der Geologischen Landesamter 1965 herausgegebenen Richtlinien. Die Bodenfarbe wurde nach dem Soil Colour Charts von Munsell bestimmt. Es wurde dabei der Feuchtigkeitszustand bei der Probennahme zugrunde gelegt.

Zur weiteren Charakteristik der beschriebenen Profile wurden aus den einzelnen Horizonten Proben entnommen und im Laboratorium nach folgenden Methoden untersucht:

1. pH-Wert: elektrometrisch mit Glaselektrode in n KCl
2. Carbonatgehalt: volumetrisch mit dem Calcimeter nach SCHEIBLER (REUTER 1962)
3. Organische Substanz: bis 1968 nach RAUTERBERG und KREMKUS (THUN, HERRMANN, KNICKMANN 1955), danach konduktometrisch mit dem Gasanalysengerät der Fa. Wösthoff
4. Kalium und Phosphorsäure (pflanzenverfügbar): Doppel-laktat Methode nach EGNER-RIEHM
5. Austauschkapazität und austauschbare Kationen nach MEHLICH (1948)
6. Zerstörung der organischen Substanz mit 10 %iger Wasserstoffperoxyd-Lösung; Carbonatzerstörung mit verdünnter Salzsäure

7. Korngrößenverteilung: Dispergierung mit Natriumpyrophosphat nach LUTTLER und JUNG (1955); die Fraktionen Ton, Fein- und Mittelschluff wurden nach der Pipettmethode KÖHN (1929), der Sand durch Naßsiebung ermittelt und der Grobschluffanteil aus der Differenz zu Hundert errechnet.

Die nach der Melioration durchgeführten chemischen Untersuchungen hatten das Ziel, die Veränderung der entsprechenden Kennwerte durch Tiefenbearbeitung und Meliorationsdüngung zu erfassen. Hierzu wurden aus dem A_p -Horizont Mischproben und aus dem Unterboden getrennte Proben aus dem ursprünglichen A_p - und dem Unterbodenmaterial (in tiefgepflügten Böden) bzw. aus dem Lockerungsgang und zwischen den Lockerungsgängen (in tiefgelockerten Böden) entnommen.

4. Untersuchungsergebnisse auf verschiedenen Standorten

4.1 Tiefpflugversuch auf Parabraunerde, erodierte Parabraunerde und Pararendzina bei Heldenbergen

4.1.1 Standortverhältnisse und Versuchsdurchführung

Heldenbergen, Kreis Friedberg, liegt in der Wetterau (Top. Karte 1 : 25 000 Blatt Altenstadt 5719), also in einem klimatisch begünstigten Ackerbaugebiet. Die mittlere Jahrestemperatur beträgt $9,0^{\circ}\text{C}$; im langjährigen Mittel fallen jährlich 630 mm Niederschläge, davon 373 mm in der Zeit vom 1. April bis 30. September.

Auf dem Versuchsfeld des Instituts für Obstbau der Justus Liebig-Universität Gießen, das ca. 1 km nordöstlich von Heldenbergen liegt, wurde im Herbst 1964 auf Veranlassung des Landeskulturamtes Wiesbaden ein 25 m breiter und 150 m langer Streifen etwa 60 cm tief gepflügt. Auf der Versuchsfäche, die schwach bis mäßig nach NO geneigt ist, kommen folgende drei Bodentypen vor: Parabraunerde, erodierte Parabraunerde und Pararendzina. Das Ausgangsgestein aller drei Böden ist Löß. Die Versuchsanordnung ermöglicht es, die Auswirkungen des Tiefumbruchs auf allen drei Bodentypen

zu untersuchen, da das Tiefpflügen quer zu den Bodengrenzen erfolgte.

auf der Parabraunerde wurde der B_t -Horizont nur angeschnitten, auf der erodierten Parabraunerde hingegen wurde außer dem B_t -Rest auch der C-Horizont teilweise erfaßt. Eine Meliorations- bzw. Ausgleichsdüngung für das vergrabene A_p -Material wurde nicht gegeben.

Die nachfolgenden Profilbeschreibungen geben einen Überblick über die Bodenverhältnisse der Versuchsfläche:

Parabraunerde aus LÖß

A_p	0 - 24 cm	dunkelbrauner (10 YR 3/3 - 3/4) stark lehmiger Schluff, schwach humos, gut durchwurzelt, Bröckelgefüge, einzelne Regenwurmgänge, deutliche gerade Begrenzung zum
B_t	24 - 77 cm	dunkelbrauner (7,5 YR 4/4) schluffiger Lehm mit dunkleren (10 YR 4/3) Tonbelägen, Polyedergefüge, viele Regenwurmgänge, deutliche, wellige Begrenzung zum
C	77 cm +	gelbbrauner (7,5 YR 5/6) lehmiger Schluff, stark carbonathaltig, Kohärengefüge, einzelne Regenwurmgänge.

Erodierte Parabraunerde aus LÖß

A_p	0 - 24 cm	dunkelgraubrauner (10 YR 3/3 - 4/3) schluffiger Lehm, subpolyedrisches Gefüge, gut durchwurzelt, einige Regenwurmgänge;
B_t	25 - 46 cm	dunkelbrauner (7,5 YR 4/4) schluffiger Lehm mit dunkleren (10 YR 4/3) Tonbelägen, Polyedergefüge, viele Regenwurmgänge, deutliche wellige Begrenzung zum

C 46 cm + gelbbrauner (7,5 YR 5/6) lehmiger Schluff, stark carbonathaltig, nadelstichporiges Kohärentgefüge.

Pararendzina aus Löss

A_p 0 - 22 cm dunkelgraubrauner (10 YR 4/3) lehmiger Schluff, Bröckelgefüge, gut durchwurzelt, carbonathaltig, gerade deutliche Begrenzung zum

C 22 cm + gelbbrauner (7,5 YR 5/4 - 6/6) lehmiger Schluff, nadelstichporiges Kohärentgefüge, gut durchwurzelt, einige Regenwurmgänge.

Dem Ausgangsmaterial der Böden entsprechend ist die Sandfraktion in allen Horizonten sämtlicher Profile nur mit geringen Anteilen vertreten (Tab. 2), während die Schlufffraktion - überwiegend Grobschluff - dominiert. Von besonderer Bedeutung ist jedoch der Tongehalt. Dieser beträgt im A_p-Horizont der Parabraunerde 19 %, der erodierten Parabraunerde 24 % und der Pararendzina 16 %. Der Tongehalt der B_t-Horizonte liegt bei 27 % und der C-Horizonte bei 15 - 17 %. Letztere enthalten 10,8 - 16,0 und der A_p-Horizont der Pararendzina 3,6 % Calciumcarbonat. Die Reaktion der carbonatfreien A_p- und B_t-Horizonte ist schwach sauer (Tab. 2).

Die Porositätsverhältnisse aller drei Böden sind recht günstig. Der Grobporenanteil mit 10 - 15 Vol.% und mehr ist recht hoch. Außerdem dürfte sich die große Zahl der Regenwurmgänge günstig auf die Durchlüftung des Bodens auswirken. Der Volumenanteil der feinen Poren steigt analog dem Tongehalt von 12 - 16 % in den A_p-Horizonten auf 16 - 19 % in den B_t-Horizonten an. Im Löss geht deren Anteil auf 7 - 9 Vol.% zurück. Setzt man bei diesen Schluffböden nach SCHEFFER-SCHACHTSCHABEL (1966 S. 245) eine mittlere Durchwurzelungstiefe von 150 cm voraus, so ergibt sich für die Parabraunerde eine Wurzelraumkapazität von 460 mm, für die erodierte

Parabraunerde eine solche von 430 mm und für die Pararendzina von 420 mm. mehr als $\frac{3}{4}$ dieser Wassermenge wird vom Boden in pflanzenverfügbare Form festgehalten.

Die untersuchten Böden der Versuchsfläche in Heldenbergen sind also in der Lage, große Mengen an Feuchtigkeit bei gleichzeitig guter Durchlüftung zu speichern und die Pflanzen auch über langanhaltende Trockenperioden hinweg gut mit Wasser zu versorgen.

4.1.2 Niederschläge während des Untersuchungszeitraumes

Von allen Witterungsfaktoren üben die Niederschläge den größten Einfluß auf den Bodenwasserhaushalt aus. In der Untersuchungszeit, die sich über die Jahre 1968 und 1969 erstreckte, wechselten die Niederschläge hinsichtlich ihrer Höhe und Verteilung stark (Abb. 4). Das Zahlenmaterial der Wetterstation Heldenbergen stellte uns das Institut für Obstbau der Justus Liebig-Universität zur Verfügung.

Das Jahr 1968 lag mit 705 mm über, das Jahr 1969 mit 490 mm weit unter dem langjährigen Durchschnitt (630 mm). Im Jahre 1968 traten einzelne Monate (August und September) mit überdurchschnittlich hohen Niederschlägen auf, während sich im Jahre 1969 einzelne Monate (September und Oktober) durch keine bzw. besonders geringe Niederschlagsmengen auszeichneten.

4.1.3 Wirkung des Tiefumbruchs auf die Bodeneigenschaften

4.1.3.1 Chemische Daten

Tabelle 1 zeigt die Veränderung der Korngrößenverteilung und einiger anderer chemischer Daten durch den Tiefumbruch. Durch das Tiefpflügen wurde nur der Tongehalt der Oberfläche der tiefgepflügten Parabraunerde geringfügig von 19,6 auf 22,8 erhöht. Auf der erodierten Parabraunerde blieb er unverändert, während auf der Pararendzina infolge des heraufgepflügten tonärmeren Untergrundmaterials (Löß) der Tongehalt herabgesetzt wurde (Tab. 2). Durch das Tiefpflügen

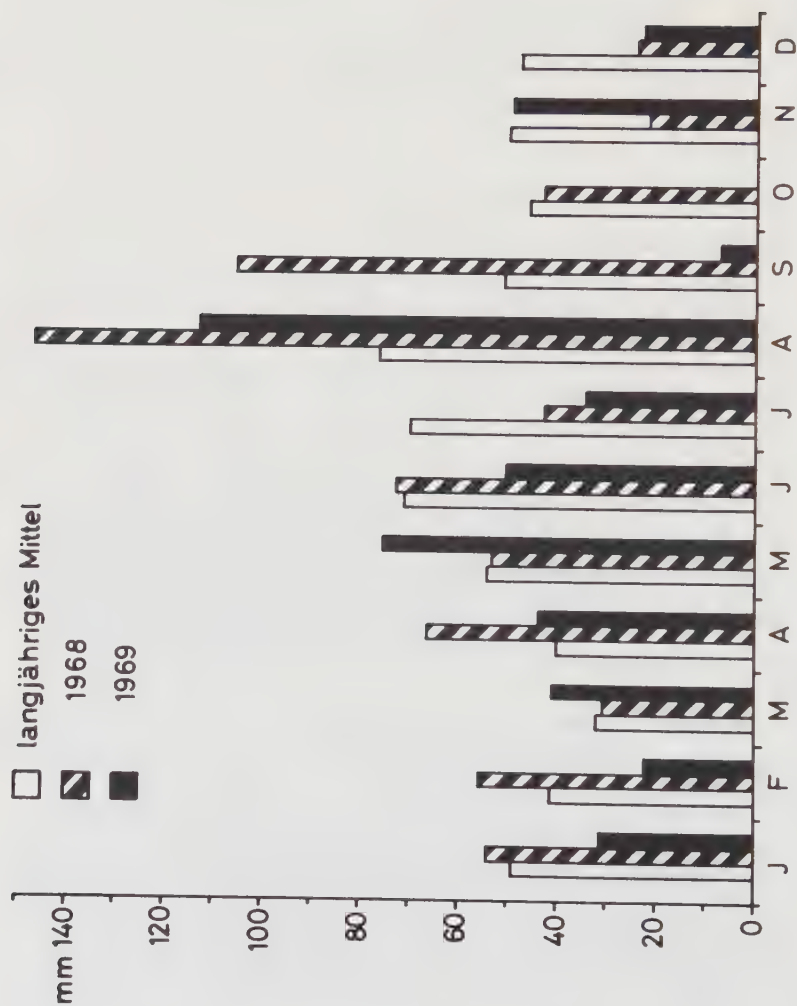


Abb. 4. Monatssumme der Niederschläge in Heldenbergen

wird der A_p -Horizont größtenteils vergraben, so daß die neu entstandene Krume einen geringeren Gehalt an organischer Substanz aufweist (Tab. 2). Es hat daher hinsichtlich des Humus gewissermaßen eine "Verdünnung" stattgefunden.

In Abhängigkeit von der Höhe des heraufgepflügten carbonathaltigen Materials aus dem C-Horizont wurde die Bodenreaktion, viel mehr aber der Carbonatgehalt der neuen Ackerkrume verändert. Während auf der erodierten Parabraunerde und Pararendzina die Bodenreaktion nicht wesentlich verändert wurde, ist der Carbonatgehalt auf der erodierten Parabraunerde von 0,6 auf 1,5 % angestiegen, auf der Pararendzina stieg er von 3,5 auf 6,3 %. Auf der Parabraunerde blieb der Carbonatgehalt fast unverändert, während die Bodenreaktion durch das Heraufpflügen von B_t -Material mit einem höheren pH-Wert von 6,1 auf 6,8 anstieg (Tab. 2).

4.1.3.2 Porosität

Im Frühjahr 1967 wurden zum ersten Mal die Strukturverhältnisse der Parabraunerde und der Pararendzina nach dem Tiefumbruch untersucht.

Die tiefgepflügte Parabraunerde weist im Vergleich zur Kontrolle (Abb. 5) einen um 4 Vol.% und in 25 cm Tiefe, d.h. direkt unter der neuen Ackerkrume, einen um 2 Vol.% geringeren Anteil an groben Poren auf, wobei das GPV nur um 2 Vol.% bzw. fast überhaupt nicht zurückging. Demgegenüber erhöht sich der Anteil der Poren 10 geringfügig. Auch der Anteil der feinen Poren hat etwas zugenommen, so daß von einer Zunahme der mittleren Poren keine Rede sein kann. Während die Abnahme der groben Poren auf den Druck der landwirtschaftlichen Fahrzeuge zurückzuführen ist, wird die Zunahme der feinen Poren zweifellos durch die Erhöhung des Tongehalts der Krume infolge des Tiefumbruchs verursacht.

In der Tiefe von 45 - 60 cm unter Flur wurde das GPV um 3 - 5 Vol.%, der Anteil grober Poren um 5 - 9 Vol.% gegenüber der Kontrolle erhöht.

Tab. 2 Korngrößenverteilung (ϕ in μ) und chemische Kennwerte

Horizont	Tiefe cm	Ton %	Fein- Schluff 2-6	Mittel- Schluff 6-20	Grob- Schluff 20-63	Fein- Sand 63-200	Grob- Sand 200-2000	pH in KCl	CaCO ₃ %	organ. Sub. (%)
<u>Parabraunerde</u>										
A _p	0-24	19,6	6,5	22,7	45,3	3,5	2,4	6,1	0,30	2,39
B _t	24-77	26,9	6,3	16,4	47,5	2,3	0,5	6,6	0,16	
C	77 +	16,0	8,7	20,9	49,6	2,9	1,9	7,7	15,96	
<u>tief geflügelte Parabraunerde</u>										
A _p	0-20	22,8	8,7	18,9	46,0	2,5	1,2	6,8	0,20	1,58
R ₁	20-35	25,7	5,4	20,2	45,7	2,1	0,8	6,9	0,23	
R ₂	35-60	18,6	10,2	20,8	47,5	2,1	0,8	6,6	0,06	
C	75 +	15,8	8,7	22,2	47,1	4,4	1,8	7,6	15,54	
<u>erodierte Parabraunerde</u>										
A _p	0-24	24,3	3,6	5,7	52,7	4,2	9,4	6,7	0,71	2,42
B _t	24-46	27,4	3,7	5,8	55,8	3,2	4,1	6,6	0,44	
C	46 +	16,7	2,8	5,1	67,9	3,6	3,8	7,8	15,04	

Hori- zont	Tiefe cm	Ton	Fein- Schluff 2-6	Mittel- Schluff 6-20	Grob- Schluff 20-63	Fein- Sand 63-200	Grob- Sand 200-2000	Phi in KCl	CaCO ₃ %	organ. Sub. (%)
---------------	-------------	-----	-------------------------	----------------------------	---------------------------	-------------------------	---------------------------	---------------	------------------------	--------------------

tief gepflügte erodierte Parabraunerde

A _p	0-20	25,6	3,4	5,3	62,1	2,9	0,7	7,1	1,52	1,60
R ₁	30-35	25,3	3,3	5,7	61,6	3,0	1,1	7,0	1,65	
R ₂	35-60	18,7	3,2	5,8	68,4	2,5	1,4	7,3	12,57	
C	60 +	14,4	2,7	6,0	73,9	2,3	1,7	7,4	13,73	

Pararendzina

A _p	0-22	19,4	3,0	5,4	60,3	4,6	1,2	7,3	3,50	2,10
C	22 +	14,7	2,3	5,0	71,1	5,0	1,9	7,4	9,95	

tief gepflügte Pararendzina

A _p	0-20	16,0	2,9	4,7	72,3	2,7	1,3	7,7	6,29	1,72
R ₁	20-35	15,4	2,9	4,6	72,3	2,3	1,5	7,30	4,40	
R ₂	35-60	15,0	2,2	4,4	72,8	4,1	1,5	7,55	14,05	
C	60 +	11,2	2,5	4,5	75,8	4,4	2,2	7,60	15,62	

Auch auf der Pararendzina hat der Tiefumbruch zu einer geringfügigen Abnahme der groben Poren im Bereich des Oberroodens geführt (Abb. 6).

Die Ergebnisse der folgenden Jahre auf allen drei Bodentypen (Abb. 7 - 9) bestätigen die Ergebnisse des Jahres 1967. Auf den tiefgepflügten Varianten ist bis zu einer Tiefe von 30 - 40 cm eine sehr deutliche Abnahme des Gesamtporenvolumens, und zwar auf Kosten der groben Poren festzustellen. Unterhalb dieser Tiefe ist dagegen ein lockeres Gefüge erhalten geblieben.

4.1.3.3 Bodenfestigkeit

Gegenüber den Varianten ohne Tiefenbearbeitung weisen die tiefgepflügten Varianten bis 30 - 40 cm Tiefe im Abscher- und Eindringwiderstand keine größeren Unterschiede auf (Abb. 10 und 11). Das dichte Gefüge der tiefgepflügten Parabraunerde in diesem Bereich hatte bei der Messung am 13. 5. 1969 keinen höheren Bodenwiderstand zur Folge, da auch der Wassergehalt höher war. Bei Aufgrabungen nach stärkerer Austrocknung zeichnete sich jedoch die tiefgepflügte Parabraunerde, genau wie die anderen tiefgepflügten Varianten, durch eine viel höhere Festigkeit aus.

Dagegen ist der Abscher- und Eindringwiderstand durch den Tiefumbruch im Unterboden herabgesetzt worden, was mit den Ergebnissen der Porositätsuntersuchungen übereinstimmt.

4.1.3.4 Infiltration

Im Oktober 1969 wurden auf der Parabraunerde mit dem Doppelringinfiltrimeter Infiltrationsmessungen durchgeführt. Die Messungen erfolgten bei einem Wassergehalt nahe der Feldkapazität.

Die für die Bodenoberfläche ermittelten Sickerwassermengen sind in Abb. 12 dargestellt. Wie daraus deutlich hervorgeht, ist die Infiltrationsgeschwindigkeit sehr unterschiedlich.

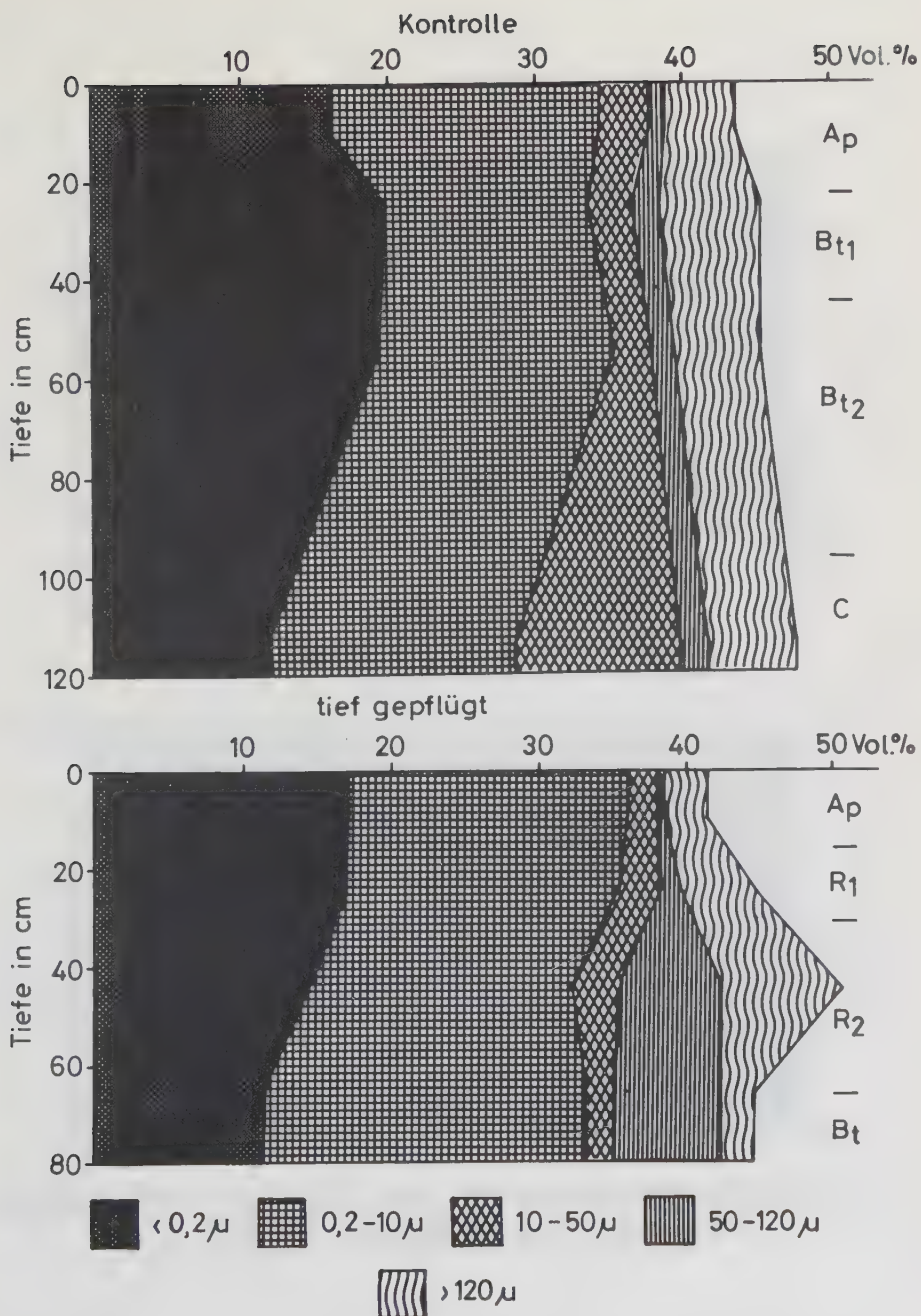


Abb.5. Porengrößenverteilung am 29.3.67 im Tiefpflugversuch Heldenbergen; Parabraunerde aus Löß

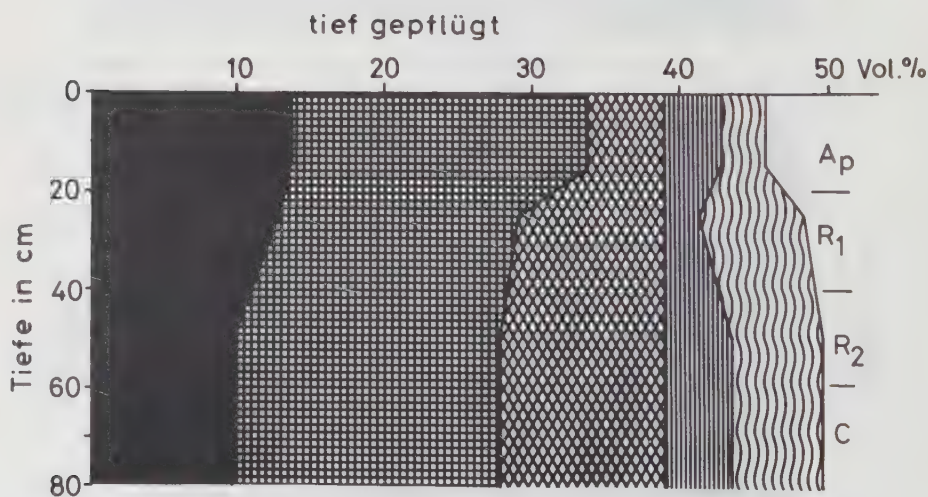
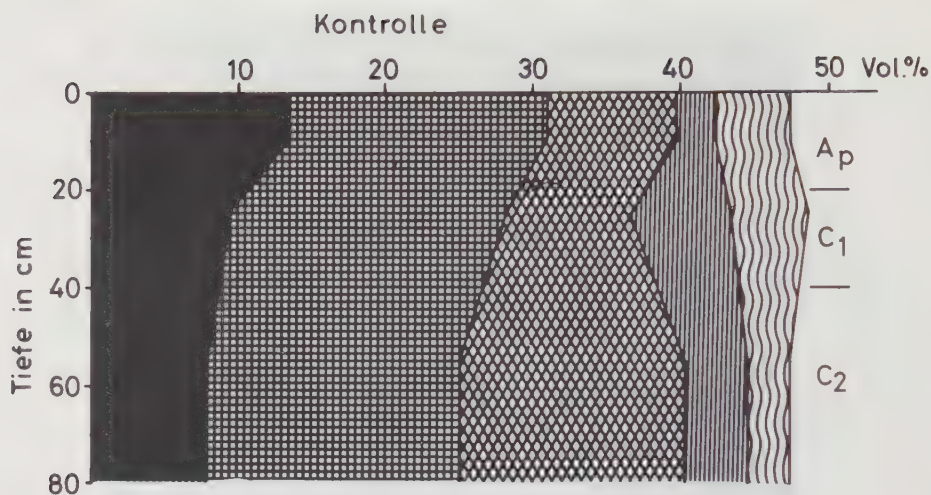


Abb. 6. Porengrößenverteilung am 29.3.67 im Tiefpflugversuch Heldenbergen ; Pararendzina aus Löß

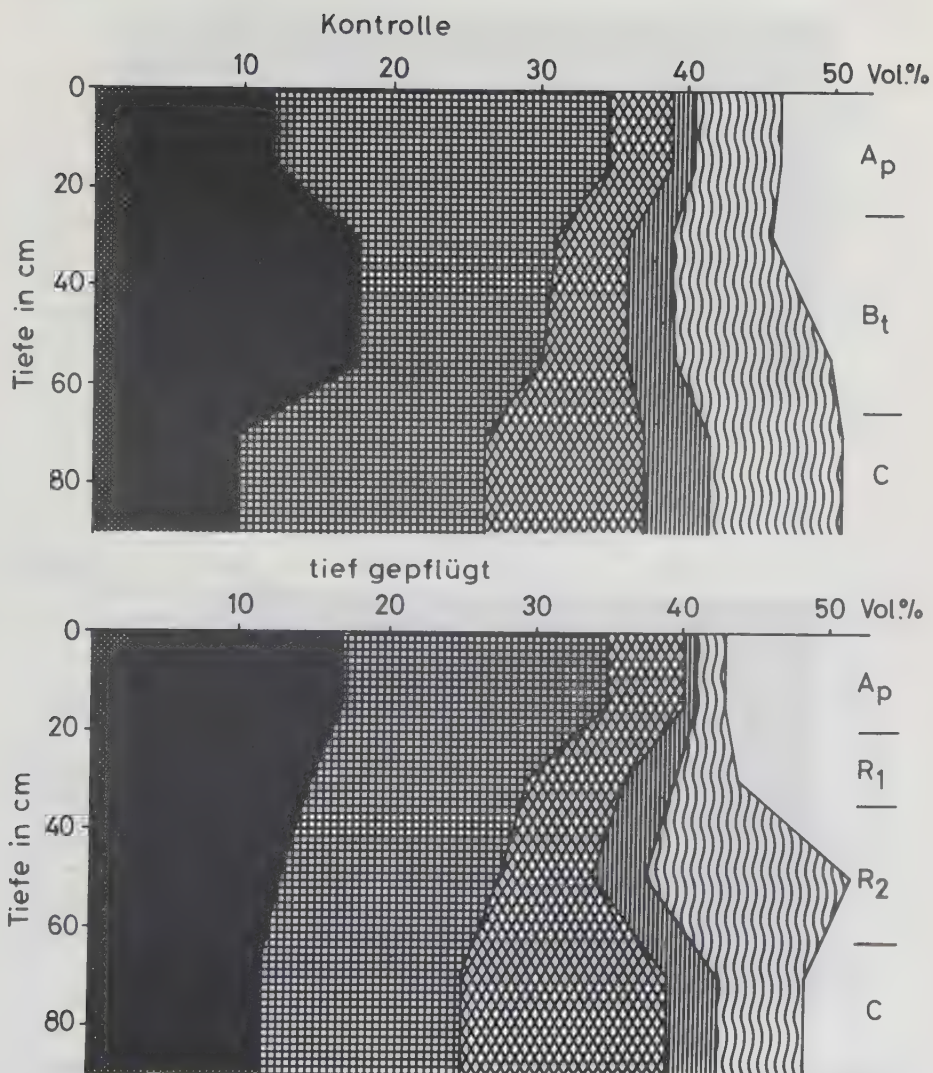


Abb.7. Porengrößenverteilung am 2.4.69 im Tiefpflugversuch Heldenbergen, Parabraunerde aus Löß

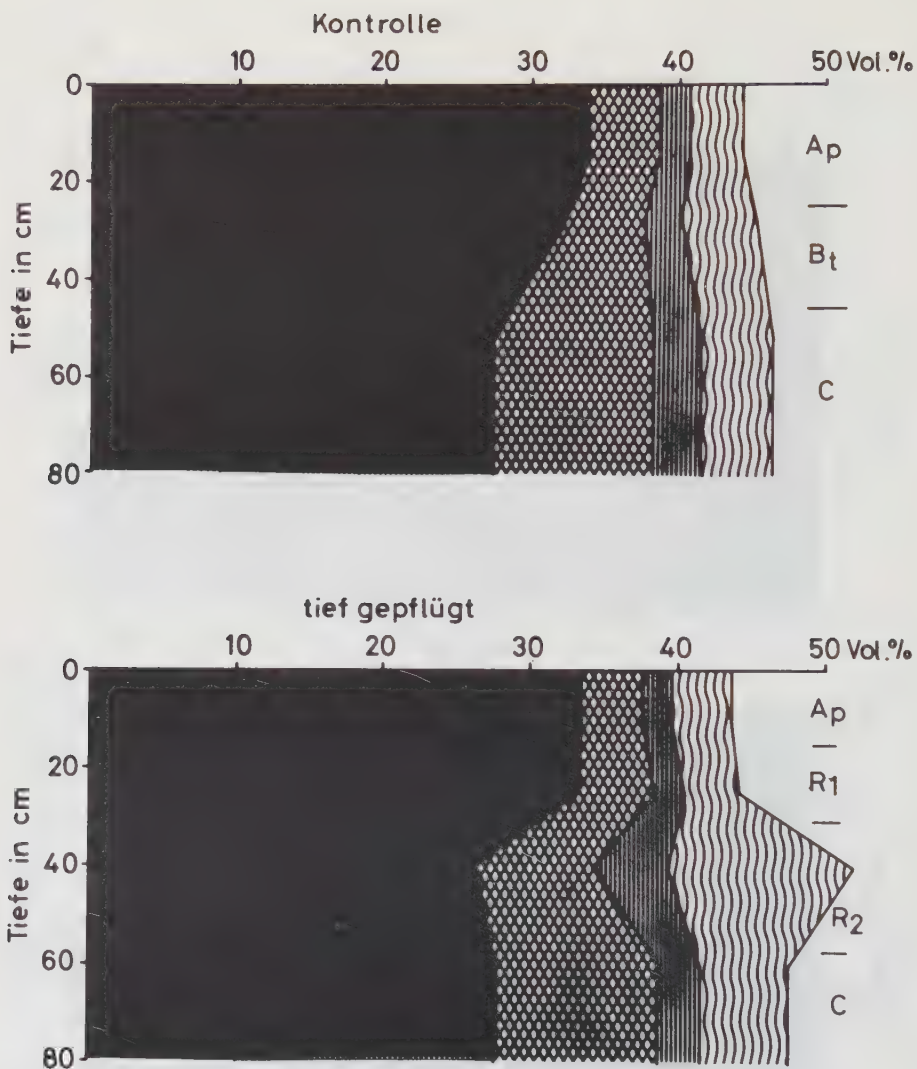


Abb.8. Porengrößenverteilung am 2.4.69 im Tiefpflugversuch Heldenbergen; erodierte Parabraunerde aus Löß

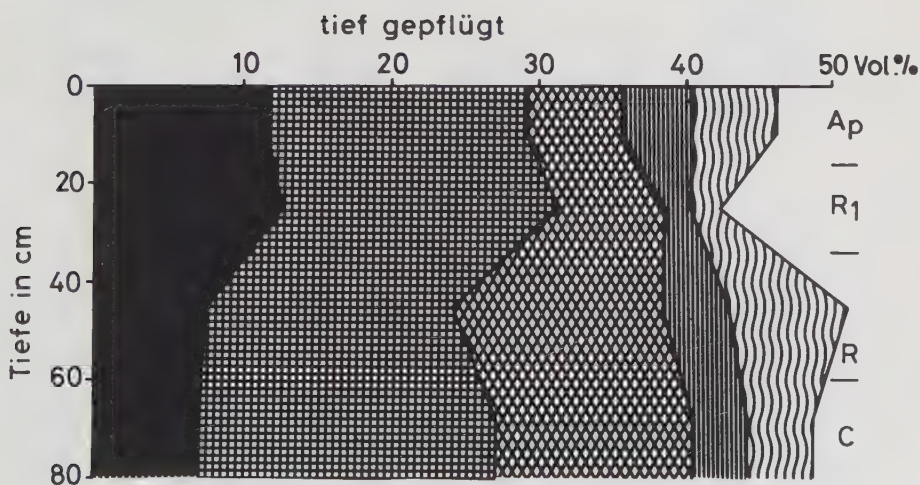
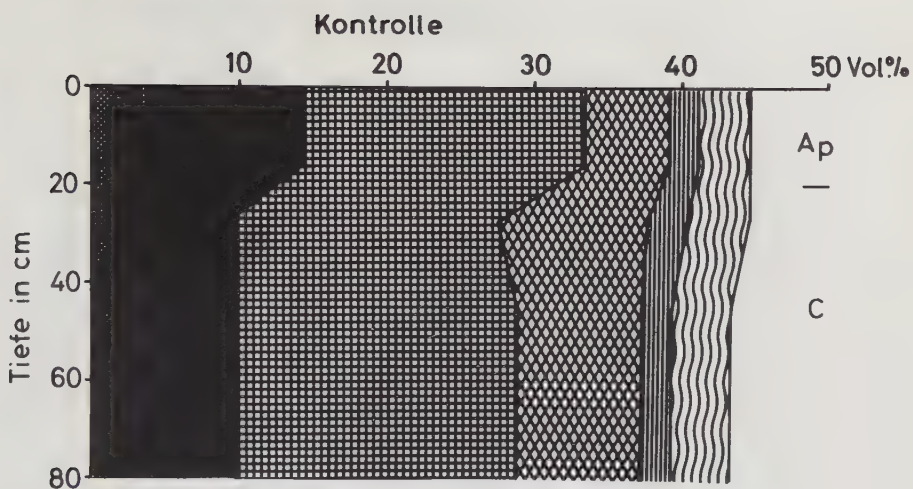


Abb. 9. Porengrößenverteilung am 2.4.69 im Tiefpflugversuch
Heldenbergen; Pararendzina aus Löß

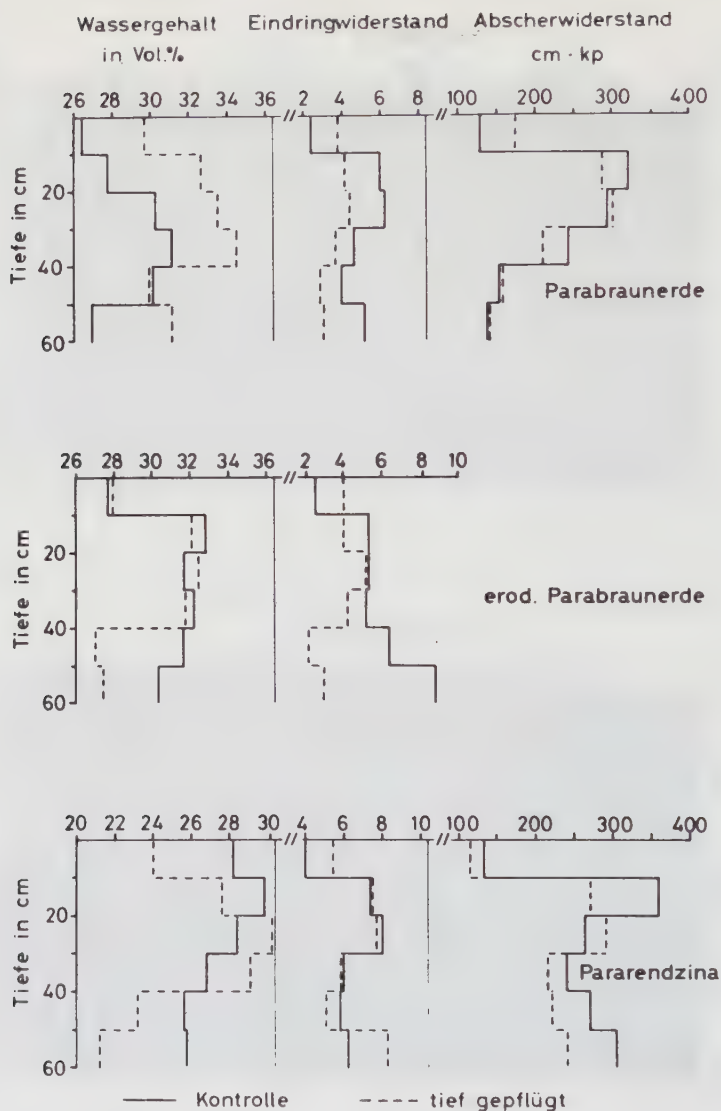


Abb.10. Tiefpflugversuch in Heldenbergen; Eindring- und Abscherwiderstand am 13.5.69

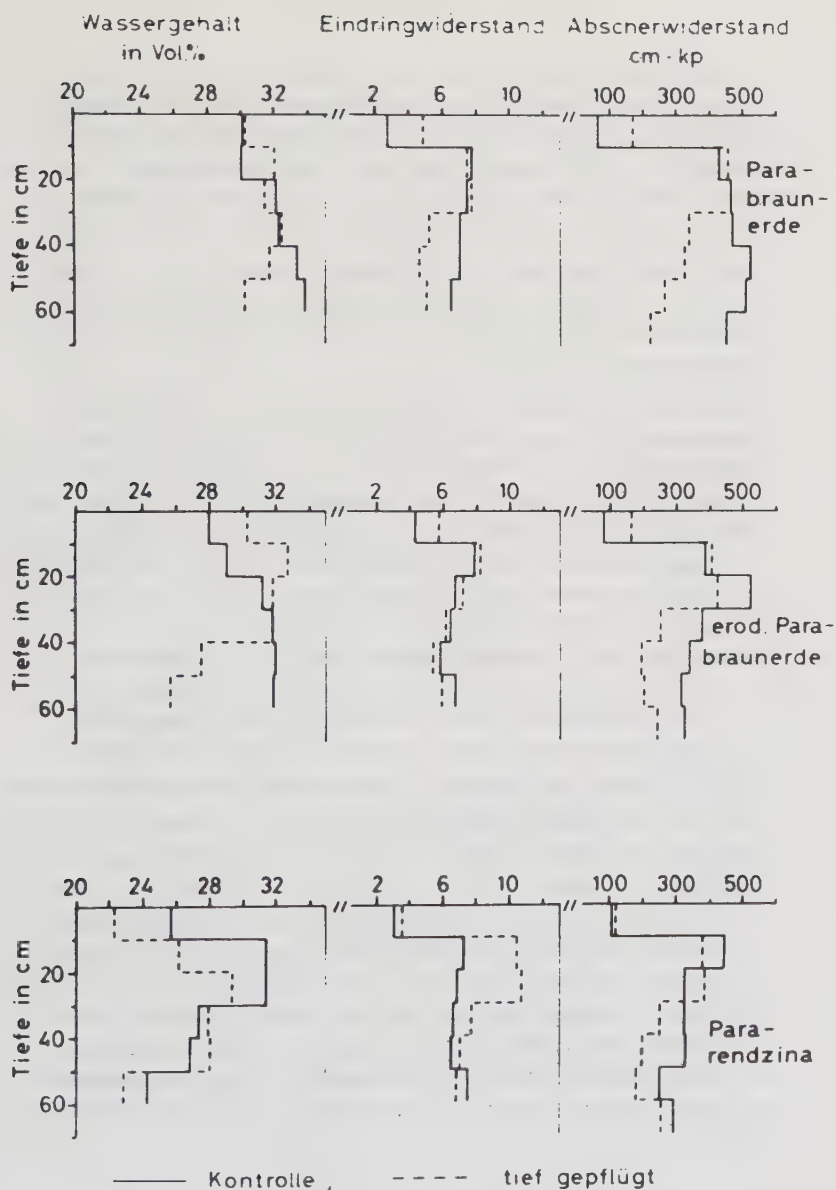


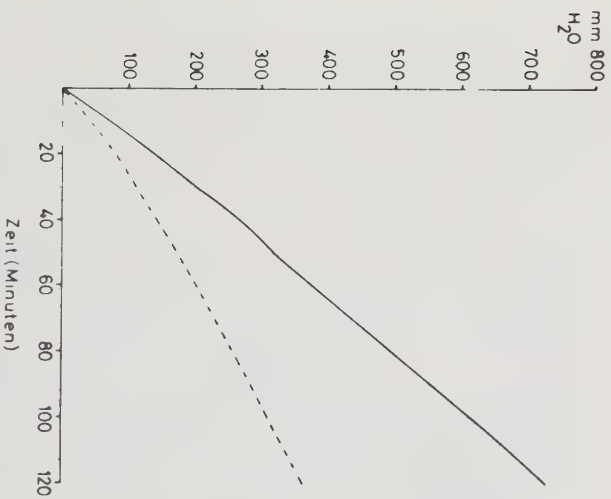
Abb 11 Tretpflugversuch in Heldenbergen; Eindring- und Abscherwiderstand am 22.10.69

Während die Parabraunerde in der ersten Stunde 383 mm aufnehmen konnte, war es bei der tiefgepflügten Parabraunerde nur etwa die Hälfte (203 mm) dieser Wassermenge. Auch GERATZKI (1968) beobachtete auf einer Parabraunerde aus LÖB nach einem Tiefumbruch, daß die Versickerung langsamer vor sich ging.

Nicht nur an der Oberfläche, sondern auch in 30 cm Tiefe weist die tiefgepflügte Parabraunerde eine geringere Wasserversickerung als die entsprechende Tiefe der Kontrolle (B_t -Horizont) auf (Abb. 13).

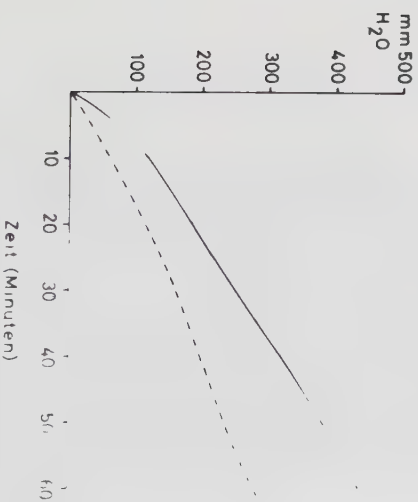
Die geringere Wasseraufnahmefähigkeit der tiefgepflügten Parabraunerde führen wir auf die Verdichtung der neuen Ackerkrume und die Pflugsohlenbildung (Krumenbasisverdichtung nach SCHONHALS (1969)), zum anderen aber auch auf die Zerstörung der zahlreichen Regenwurmgänge zurück. Die Bedeutung der Regenwurmgänge für die Wasserversickerung geht deutlich aus den Untersuchungen von KOPP hervor. In seiner Veröffentlichung über "Die Permeabilität durchlässiger Böden, die Gliederung des Makroporenraumes und die Beziehung zwischen Permeabilität und Bodentypen" (1966) weist er nach, daß 3 - 5 % Makroporen in Form von Wurzel- und Wurmröhren im LÖB etwa die gleiche Wassermenge wie 10 bis 15 % meist texturbedingte Makroporen des Sandbodens perkolieren lassen.

Auf der Pararendzina wurde die Infiltrationsmessung ebenfalls Ende Oktober 1969, aber nur auf der Bodenoberfläche, durchgeführt. Die Wassergehalte entsprachen der Feldkapazität (s. Abb. 11). Die Infiltrationsraten schwankten zwischen 35 und 128 mm/Stunde und 8 zeigten eine geringe bis mittlere Durchlässigkeit an (Abb. 14). Dieser Boden weist also eine geringere Versickerung als die Parabraunerde auf, obwohl der Anteil der groben Poren in der Pararendzina größer ist. Allerdings sind bei den Aufgrabungen in der Pararendzina weniger Regenwurmgänge als in der Parabraunerde beobachtet worden.



(—) Parabraunerde (---) tief geplagte Parabraunerde

Abb 12 Verlauf der Infiltration, gemessen an der Bodenoberfläche



(—) Parabraunerde (---) tief geplagte Parabraunerde

Abb 13 Verlauf der Infiltration, gemessen in 30 cm Tiefe

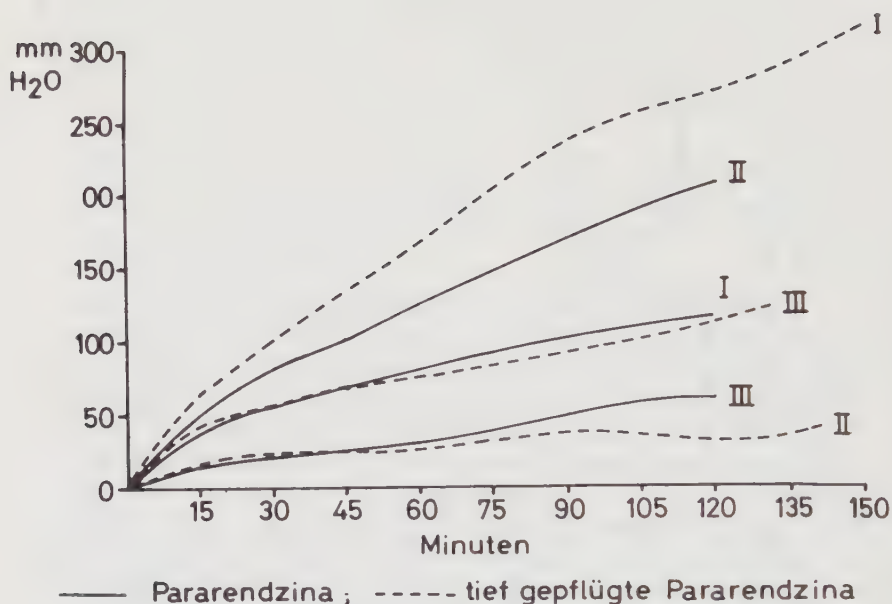


Abb. 14 Verlauf der Infiltration, gemessen an der Bodenoberfläche.

Die große Streuung der Infiltrationsraten in der Pararendzina ist etwas überraschend, da es sich auch hier um einen außerordentlich homogenen Boden handelt und mit 707 cm² Innenring- bzw. 3125 cm² Außenringfläche eine relativ große Versickerungsfläche gegeben ist.

Während bei der Parabraunerde nach dem Tiefumbruch die Infiltrationsrate um fast 50 % abnahm, ist auf der Pararendzina keine einheitliche Tendenz zu erkennen (Abb. 14). Die Versickerungsrate der tiefgepflügten Pararendzina liegt in einem Falle (Meßstelle I) höher und in zwei Fällen niedriger bzw. gleich hoch wie bei der Kontrolle.

4.1.2.5 Bodenfeuchteverlauf

Die Wassergehaltsmessungen während der niederschlagsreichen Vegetationsperiode 1968, in der das Versuchsfeld mit Winterweizen bestellt war, ergaben, daß die tiefgepflügte Parabraunerde bis Mitte September sowohl im Oberboden als auch im Unterboden höhere Wassergehalte als die Kontrolle aufwies (Abb. 15). Erst danach änderte sich das Bild geringfügig, indem der Wassergehalt des Oberbodens in der Kontrolle zunahm. Bei den letzten Messungen im Herbst zeigte der untere Teil des Tiefpflughorizontes wieder höhere Feuchtegehalte als die Kontrolle in der entsprechenden Tiefe.

Auf der erodierten Parabraunerde war der Feuchteverlauf auf der Kontrolle und der tiefgepflügten Parzelle wenig unterschiedlich (Abb. 16). Bemerkenswert sind lediglich die niedrigeren Wassergehalte im oberen Profilabschnitt des tiefgepflügten Bodens und die höheren Wassergehalte im unteren Teil des Tiefpflughorizontes.

Etwas größer sind die Unterschiede der beiden Varianten auf der Pararendzina (Abb. 17). Hier weist die Kontrolle mit nur wenigen Ausnahmen höhere Wassergehalte als der tiefgepflügte Boden auf.

Die Vegetationsperiode 1969 war wesentlich niederschlagsärmer als die vorangegangene. Das Versuchsfeld war in diesem Jahr mit Sommergerste bestellt.

Bis Ende Juni nahm der Wassergehalt nur wenig ab, wobei auf der Parabraunerde die Kontrolle niedrigere Werte zeigte als der tiefgepflügte Boden (Abb. 18). Die stärkere Austrocknung war zu den Messterminen am 7. und 22. Juli zu verzeichnen. Danach erfolgte wieder eine allmähliche Sättigung des Bodens. Bedeutende Unterschiede zwischen der Kontrolle und dem tiefgepflügten Boden waren nicht festzustellen.

Ähnlich wie die Parabraunerde verhielt sich auch die erodierte Parabraunerde (Abb. 19). Nennenswerte Unterschiede im Wassergehalt traten nur Ende Juli auf, als die Kontrolle in ihrem

Unterboden stärker austrocknete als die tiefgepflügte Variante. Dagegen wichen die beiden Varianten auf der Pararendzina auch 1969 stärker voneinander ab (Abb. 20). In der Ackerkrume hatte die Kontrolle im allgemeinen deutlich höhere Wassergehalte, nur im Juli und August waren die Werte nicht höher. In 20 - 40 cm, zeitweise bis 50 cm Tiefe, hatte der tiefgepflügte Boden meistens höhere Wassergehalte. Unterhalb dieser Tiefe enthielt wiederum die Kontrolle während der ganzen Vegetationsperiode mehr Wasser.

Abschließend kann festgestellt werden, daß der Wassergehalt auf allen sechs Böden des Versuchsfeldes Heldenbergen im trockenen Sommer 1969 stark abnahm. Die Abnahme war auch in der Tiefe von 80 - 100 cm noch stark, woraus gefolgert werden kann, daß die Austrocknung noch tiefer reichte.

Nach CZERATZKI (1958) entnehmen die Pflanzen ca. 50 % ihres Wasserbedarfs aus dem Oberboden, sofern dieser ausreichend mit Wasser versorgt ist. Der Autor räumt aber ein, daß die Pflanzen während längerer Trockenperioden den Boden bis in größere Tiefen auszuschöpfen vermögen.

Diese Aussage von CZERATZKI wird durch Wurzeluntersuchungen im wesentlichen bestätigt. Nach VETTER und SHARAFAT (1964) beschränkt sich das Wurzelvolumen auf einer Parabraunerde im Mittel aller untersuchten Kulturen zu etwa 70 % auf die Krume. Nur 30 % des Wurzelvolumens wurde in den tieferen Horizonten gefunden. Ähnliche Ergebnisse wurden von GRASS (1969) bei Winterweizen auf einer pseudovergleyten Parabraunerde im Jahre 1968 erzielt.

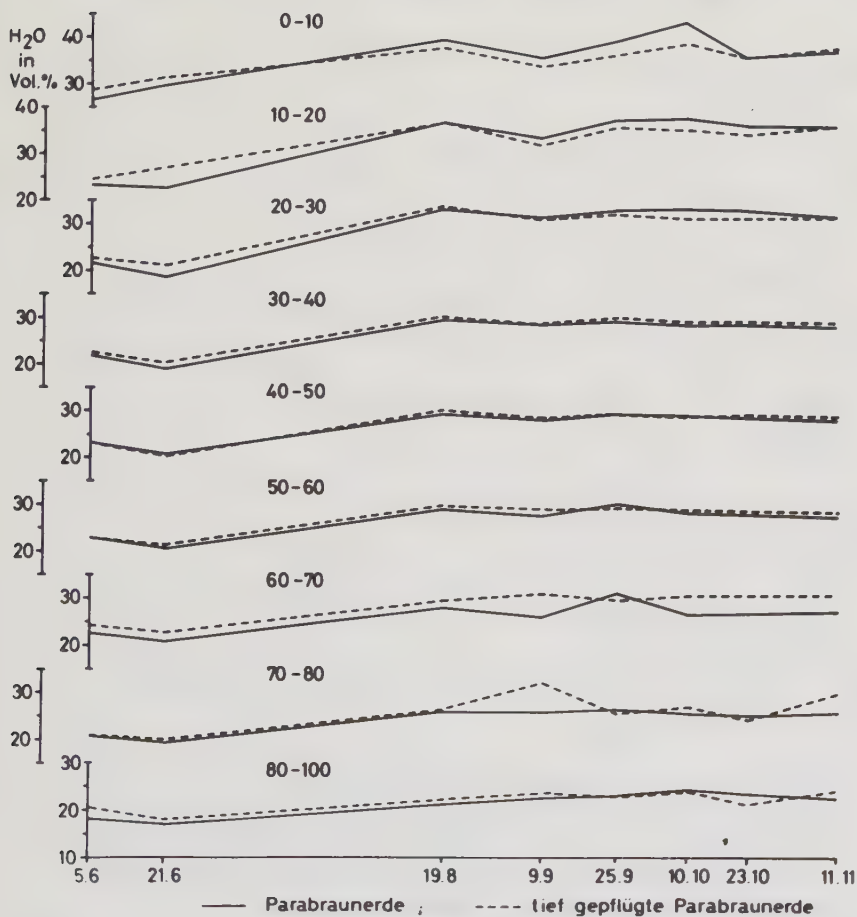
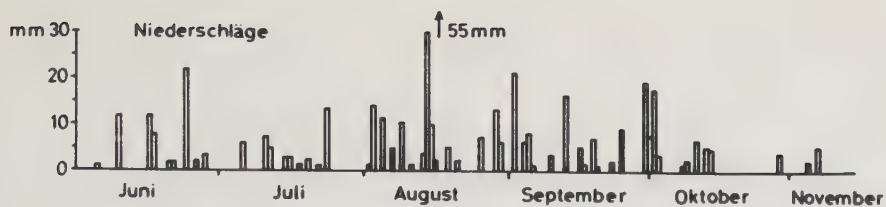


Abb 15. Bodenfeuchte in Vol. % während der Vegetationsperiode 1968

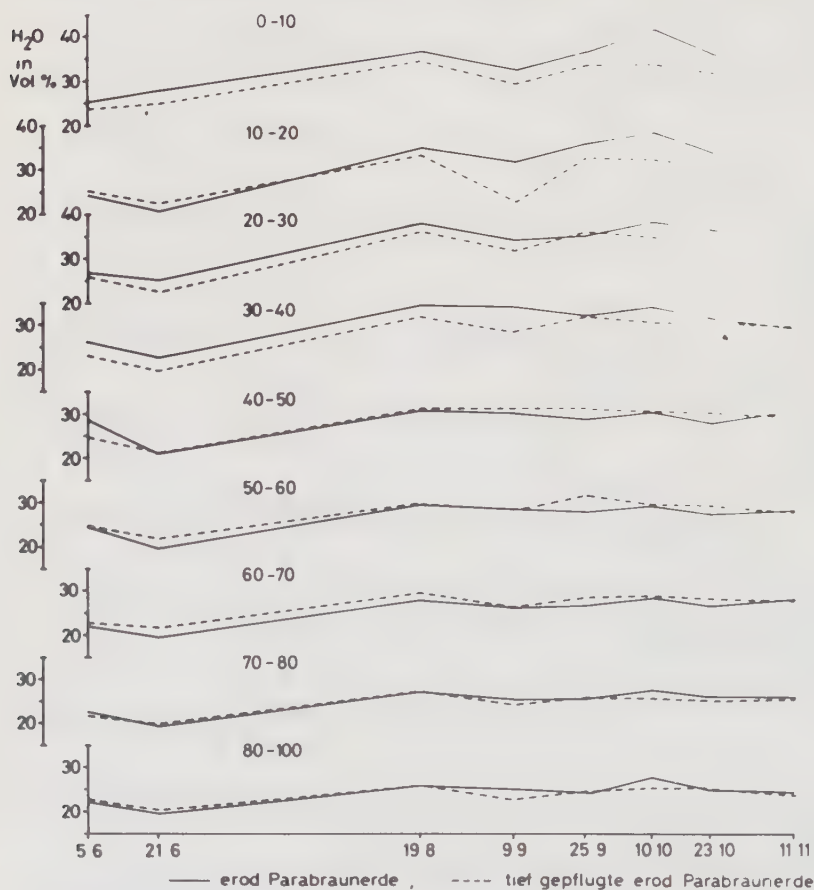


Abb. 16. Bodenfeuchte in Vol % während der Vegetationsperiode 1968

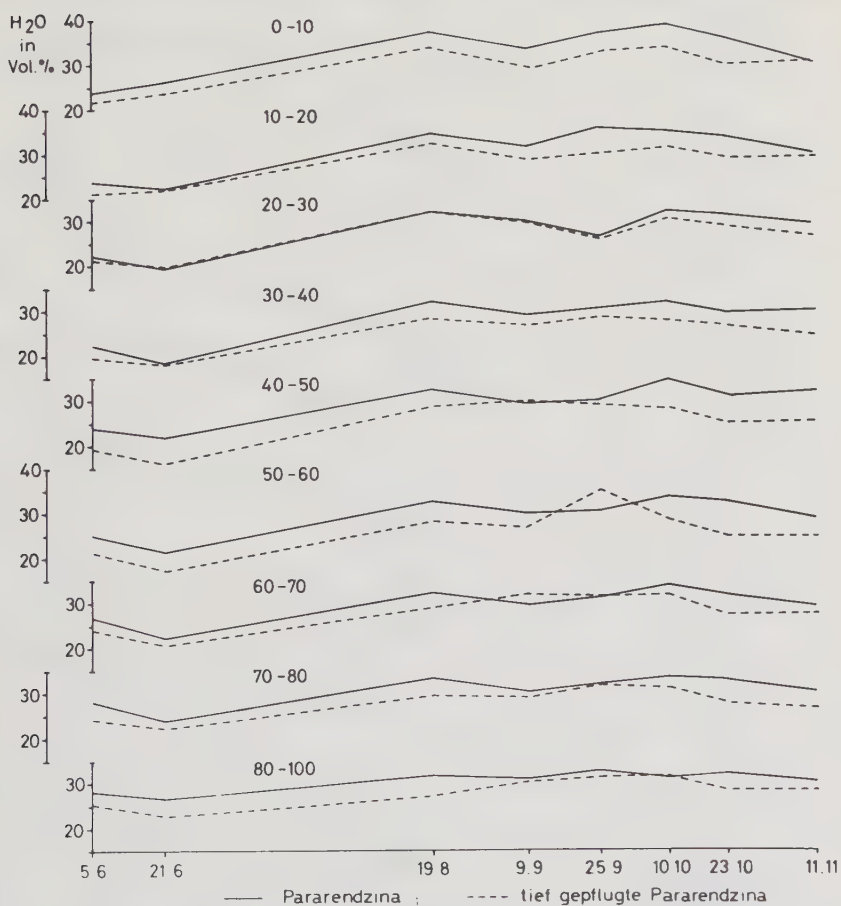
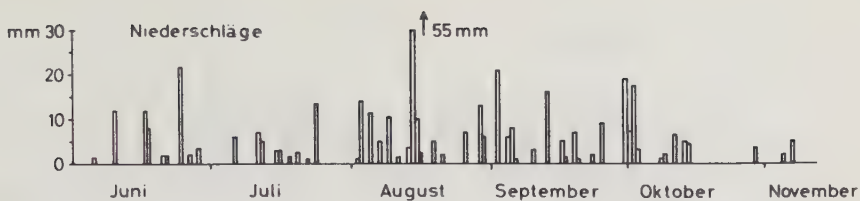


Abb 17 Bodenteuchte in Vol. % während der Vegetationsperiode 1968

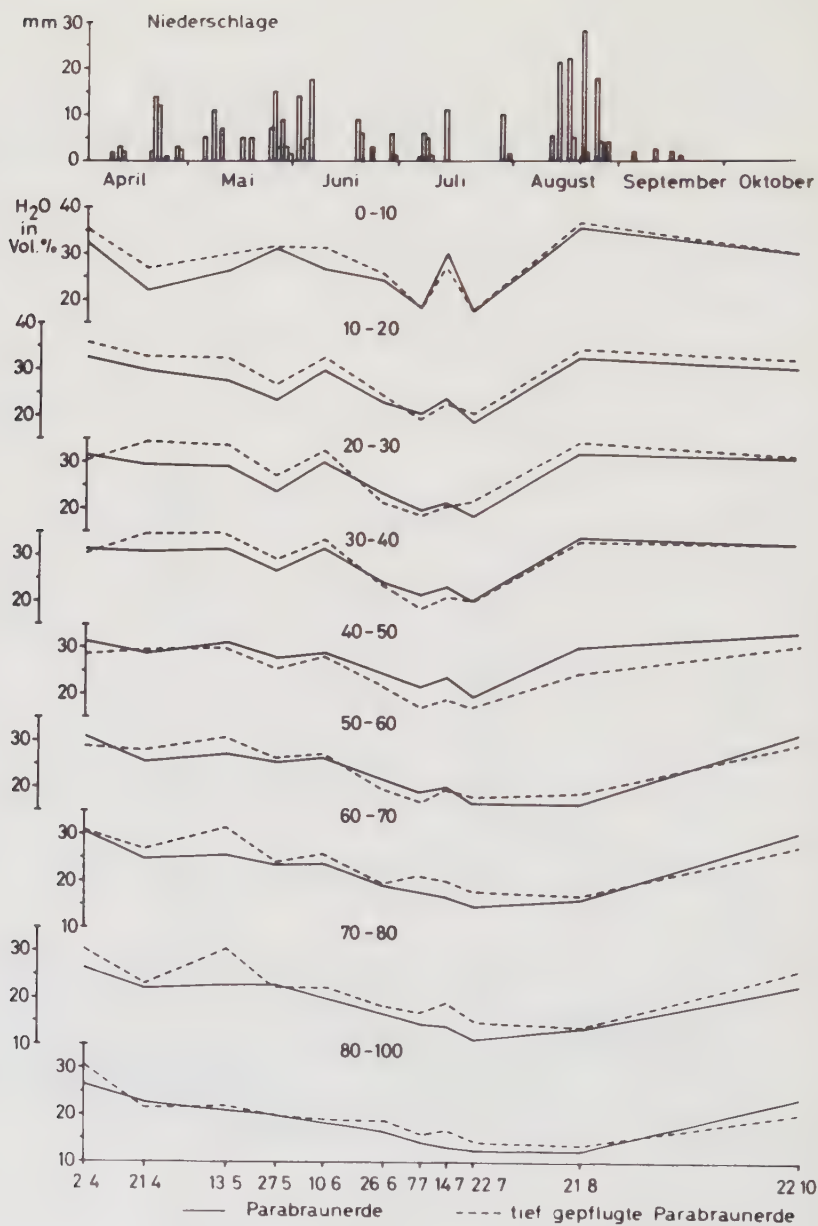


Abb 8 Bodenfeuchte in Vol % während der Vegetationsperiode 1969

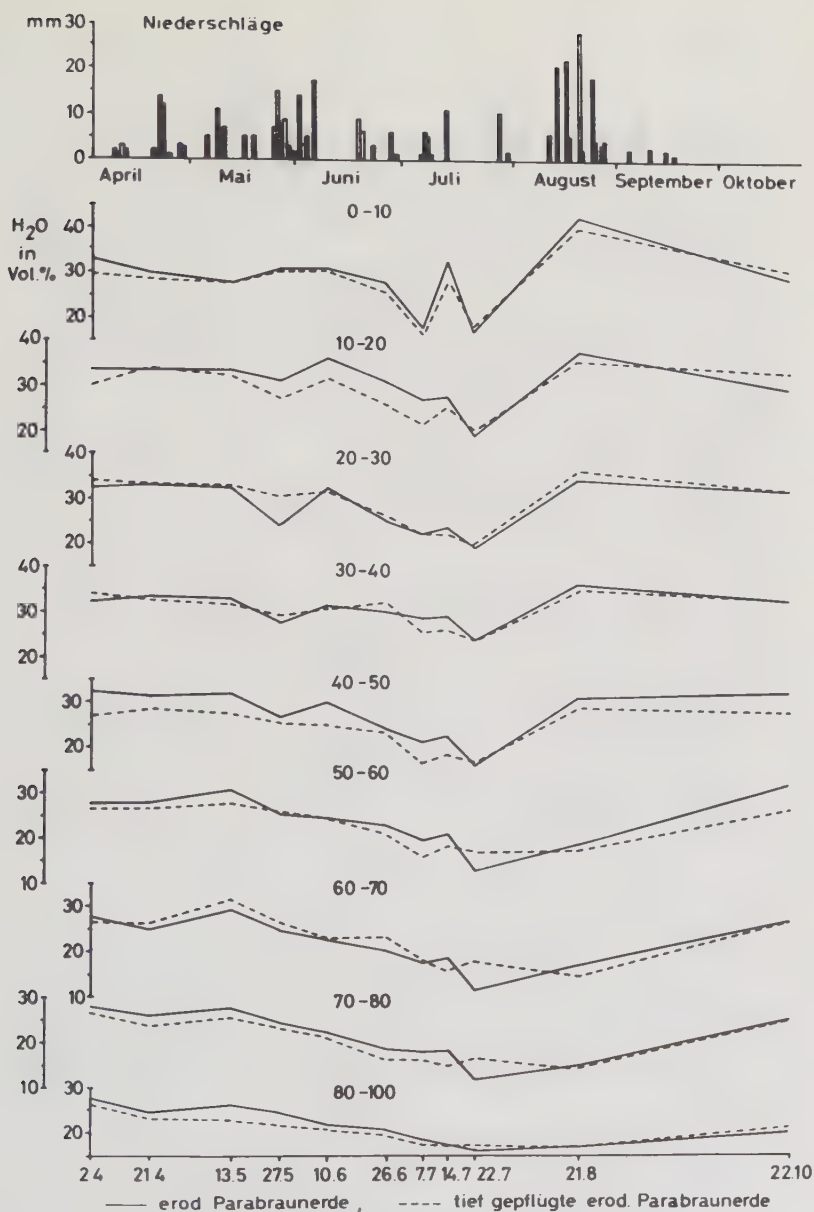


Abb 19 Bodenfeuchte in Vol. % während der Vegetationsperiode 1969

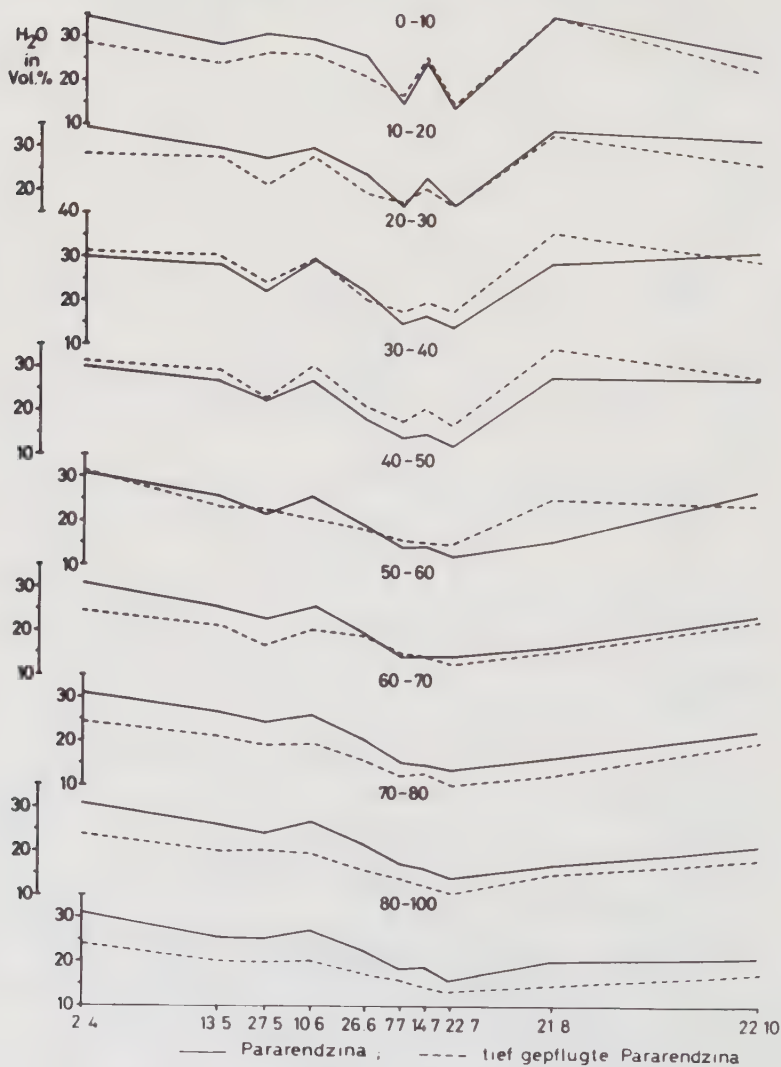
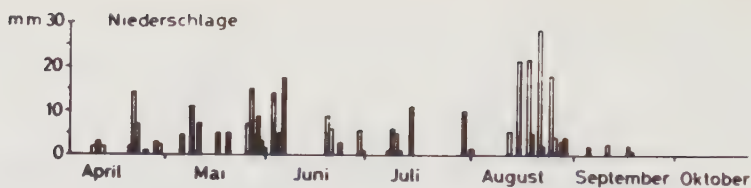


Abb 20 Bodenfeuchte in Vol. % während der Vegetationsperiode 1969

4.1.4 Zusammenfassung

Die drei Böden der Versuchsfläche Heldenbergen weisen keine großen Texturdifferenzen auf. Der Tongehalt des Oberbodens liegt bei allen Böden bei 20 %. Die bodenphysikalischen Untersuchungen lassen erkennen, daß die Böden eine gute Wasserdurchlässigkeit besitzen und in der Lage sind, große Mengen an pflanzenverfügbarem Wasser bei gleichzeitig guter Durchlüftung zu speichern. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, daß die Böden nicht meliorationsbedürftig sind.

Durch den Tiefumbruch nahm der Humusgehalt des neu entstandenen A_p -Horizontes infolge des vergrabens von humushaltigem Krumenmaterial bei allen drei tiefgepflügten Varianten ab, während der Tongehalt auf der Parabraunerde geringfügig zunahm, auf der erodierten Parabraunerde etwa unverändert blieb und auf der Pararendzina abnahm.

Die physikalischen Eigenschaften sind durch den Tiefumbruch verschlechtert worden, denn im A_p - und R_1 -Horizont weisen die tiefgepflügten Varianten eine starke Verdichtung auf. Diese Verdichtung im Zusammenhang mit der Zerstörung der zahlreichen Regenwurmgänge verursachte die Abnahme der Infiltrationsrate auf der tiefgepflügten Parabraunerde um fast 50 %.

Der Einfluß des Tiefumbruchs auf den Wasserhaushalt war gering. Eine frühere Abtrocknung konnte zwar beobachtet werden, aber bereits in geringer Tiefe nicht nachgewiesen werden.

Die Ergebnisse unserer physikalischen Untersuchungen stehen mit den Ertragsermittlungen von GRASS (1969) im Einklang. Eine Ertragssteigerung durch den Tiefumbruch konnte er nur bei Hafer 1967 auf allen drei Böden feststellen. Dagegen brachten die Sommergerste 1966 und der Winterweizen 1968 auf Parabraunerde und erodierter Parabraunerde ungesicherte Mindererträge.

4.2 Tiefpfluganlage auf Parabraunerde beim Marienhof

4.2.1 Standortverhältnisse und Versuchsanlage

Der Untersuchungsstandort Marienhof liegt ebenfalls in der Wetterau, und zwar in der Gemarkung Burg-Gräfenrode, nur etwa 5 km westlich vom Versuchsfeld Heldenbergen. Hier wurde im Herbst 1964 auf einer schwach nach SO geneigten Fläche (1 - 3 % Hangneigung) ein ca. 3,5 ha großer Ackerschlag auf Veranlassung des Landeskulturamtes Wiesbaden etwa 70 cm tief gepflügt. Eine Meliorationskalkung in Höhe von 80 dz/ha CaO wurde zur Hälfte eingepflügt und zur Hälfte nach dem Tiefumbruch gestreut.

Der vorherrschende Bodentyp des tiefgepflügten Schlages war die Parabraunerde aus Löß. Humose Beläge im B_t -Horizont, der in der Regel schwach pseudovergleyt war, können als Anzeichen eines früheren Schwarzerdestadiums gedeutet werden. Der östliche Rand des Schlages, der an eine mit Kolluvium gefüllte Mulde mit etwas größerer Hangneigung anschließt, wies einen stärkeren Bodenabtrag auf. Auf den an diesen Schlag angrenzenden Äckern sind die ursprünglichen Bodenverhältnisse erhalten geblieben. Diese Flächen dienten bei der Untersuchung als Kontrolle. Von besonderer Bedeutung war dabei die nördlich angrenzende Fläche, die seit mehreren Jahren mit dem tiefgepflügten Schlag zusammen bewirtschaftet wurde.

Folgende Profilbeschreibung gibt eine für den Marienhof charakteristische Parabraunerde wieder:

Profilbeschreibung

A_p	0 - 25 cm	dunkelgraubrauner (10 YR 4/2 - 4/3), schwach humoser, schwach lehmiger Schluff, bröckelig bis krumeliges Gefüge oberhalb 15 cm, unterhalb dichter gelagert, einige Eisen- und Manganflecken, deutliche gerade Begrenzung zum
-------	-----------	--

A ₁	25 - 35 cm	hellgelblichbrauner (10 YR 5/6 - 6/6) lehmiger Schluff, schwach ausgeprägtes plattig-bröckeliges Gefüge, dicht, einige Eisen- und Manganflecken, wellige bis zungenförmige Begrenzung zum
B _{t1}	35 - 65 cm	gelbbrauner (10 YR 5/4 - 6/6) stark lehmiger Schluff, subpolyedrisches Gefüge mit deutlichen dunkelbraunen (10 YR 3/2 - 3/4) humosen Tonbelagen, locker, Regenwurmgänge, einzelne Manganflecken und graubraune (10 YR 6/3) Schluffnester, undeutliche Begrenzung zum
B _{t2}	65 - 100 cm	gelblichbrauner (10 YR 5/4) schluffig-toniger Lehm, grobpolyedrisches Gefüge mit dunkelbraunen (10 YR 4/4 - 5/6) Tonbelagen, dicht, Manganflecken, Regenwurmgänge, deutliche gerade Begrenzung zum
C ₁	100 - 150 cm	gelbbrauner (10 YR 6/4 - 6/6), marmoriert, stark carbonathaltiger lehmiger Schluff (Löß), einzelne Schrumpfrisse mit starken Tonbelagen überzogen, sehr dicht, naß, undeutliche Begrenzung zum
C ₂	150 cm +	gelbbrauner (10 YR 6/4), stark carbonathaltiger lehmiger Schluff (Löß), nicht so dicht, nicht naß

Die Korngrößenverteilung ist durch einen für Lößböden charakteristischen hohen Schluffanteil und eine für Parabraunerden typische Tonverteilung gekennzeichnet. Der Tongehalt beträgt in den A-Horizonten 10 - 17 %, im B_t-Horizont 29 - 33 % und im C-Horizont 16 - 18 % (Tab. 3).

Der Carbonatgehalt des C-Horizontes ist recht hoch (17 - 18 %), und die Bodenreaktion der carbonatfreien bis carbonatarmen Horizonte liegt im schwach alkalischen bis mäßig sauren

Bereich (im A_p pH 6,5 - 7,5 und im B_t 5,5 - 6,2).

Die Nährstoffversorgung der Ackerkrume war zur Zeit der Untersuchungen gut. Die laktatlöslichen Werte betragen für K_2O 28 - 36 mg und für P_2O_5 28 - 34 mg je 100 g Boden (Tab. 3).

Die Porositätsuntersuchungen ergaben eine Zunahme des Gesamtporenvolumens vom A_1 - zum B_t -Horizont und eine Abnahme im C-Horizont, wobei der Grobporenanteil etwa 6 - 10 % beträgt. Eine Abnahme der groben Poren an der Grenze der Horizonte A_1 und B_t , wie sie LÜDERS (1965) an Flotssand-Parabraunerden und PAPP (1963), BENECKE (1965) sowie RENGGER (1968) an Löß-Parabraunerden beobachtet haben, konnte auf dem Marienhof ebenso wenig festgestellt werden wie auf den übrigen von uns in Hessen untersuchten Parabraunerden aus Löß. Auch HÄRTGE (1965) hat nie eine Abnahme des Gesamtporenvolumens und der groben Poren in B_t -Horizonten von Parabraunerden beobachtet. Die Tonanreicherung im B_t -Horizont macht sich nur durch einen Anstieg der feinen Poren bemerkbar, während die Einlagerungsverdichtung durch die lockernde Tätigkeit von Pflanzenwurzeln und Bodentieren aufgehoben wird. Der mehr oder weniger befriedigende Grobporenanteil und die starke Regenwurmtätigkeit in den untersuchten Profilen gewährleisten eine gute Durchlüftung des Bodens. Auch Redoxpotentialmessungen von HORNEWMANN (1969) ließen keine Störung des Lufthaushaltes erkennen.

Der Anteil der mittleren Poren ist im A_1 - und C-Horizont mit Werten von 22 - 24 Vol.% recht hoch, im B_t -Horizont allerdings etwas geringer (17 - 19 Vol.%).

4.2.2 Niederschläge während des Untersuchungszeitraumes

Für den Untersuchungsstandort Marienhof wurden die Messungen der Wetterstation Heldenbergen zugrunde gelegt (vgl. 4.1.2).

4.2.3 Wirkung des Tiefumbruchs auf die Bodeneigenschaften

4.2.3.1 Chemische Daten

Durch den Tiefumbruch wurde die starke Texturdifferenz zwischen den einzelnen Bodenhorizonten beseitigt. Es liegt nunmehr bis zur Tiefe von 70 cm, die der Bearbeitungstiefe entspricht, ein mittlerer Tongehalt von etwa 20 % vor (Tab. 3).

Die Bodenreaktion und die Austauschkapazität sowie mit Sicherheit auch die Basensättigung sind gestiegen (Tab. 3). Das humushaltige A_p -Material wurde zu einem großen Teil in Gestalt von schrägen Balken begraben, weshalb die neue Krume einen geringeren Humusgehalt aufweist (Tab. 3).

Das Vergraben des A_p -Horizontes hat zur Folge, daß die tieferen Schichten des gepflügten Bodens einen höheren Kali- und Phosphatgehalt als die entsprechenden Tiefen der Kontrolle aufweisen.

4.2.3.2 Porosität

Aus den in Abb.21 dargestellten Ergebnissen geht hervor, daß das Gesamtporenvolumen bis 65 - 70 cm Tiefe durch den Tiefumbruch eine Zunahme von 4 - 6 Vol.% erfahren hat. Diese Zunahme erfolgte zugunsten der groben Poren. Die Durchlüftung wurde also verbessert. Eine Ausnahme macht lediglich der neue A_p -Horizont. Hier nahm zwar das Gesamtporenvolumen auch zu, der Anteil der groben Poren ist jedoch um 3,5 Vol.% (von 10,0 auf 6,5 Vol.%) zurückgegangen. Diese Abnahme ist durch das Heraufpflügen von tonreichem Unterbodenmaterial in die Krume erklärbar, was eine Zunahme der feinen Poren in der mit Ton angereicherten neuen Krume zur Folge hat.

Eine Pflugsohlenverdichtung, die bei den anderen Tiefenbearbeitungsversuchen beobachtet wurde, ist hier nicht festgestellt worden. Die starke organische Düngung und die schonende Bodenbewirtschaftung haben offensichtlich eine Sackungsverdichtung verhindert.

Tab. 3 Korngrößenverteilung (Äquivalent ϕ in) und einige chemische Kennwerte

Hori- zont	Tiefe cm	Ton 2	Fein- Schluff 2-6	Mittel- Schluff 6-20	Grob- Schluff 20-63	Sand 63	pH in KCl	CaCO ₃ %	org. Sub. %	AK mval/100 g	P ₂ O ₅ mg/100 g	K ₂ O g Boden
<u>Paraabrauerde</u>												
A _p	0-25	14,1	7,0	23,8	49,0	6,0	6,7		1,72	11,1	28,3	36,5
A ₁	25-35	28,1	7,5	24,2	40,4	3,7	6,4			12,8	10,6	24,2
B _t	35-85	29,1	5,9	20,9	41,1	3,0	6,2			11,5	11,0	16,2
C	85 +	17,6	5,8	23,3	48,4	4,9	7,3	17,9		11,3	1,1	6,9
<u>tief gepflügte Paraabrauerde</u>												
A _p	0-25	23,7	6,4	20,7	45,3	3,8	7,3		1,13	15,8	29,6	37,5
R ₁	25-37	20,1	5,9	22,3	46,7	5,0	6,6			13,1	25,8	30,3
R ₂	37-70	16,6	6,9	24,2	47,0	5,2	6,8			12,0	34,7	31,5
C	75 +	22,1	7,1	22,3	42,9	5,6	7,3	18,4		14,0	0,8	6,8

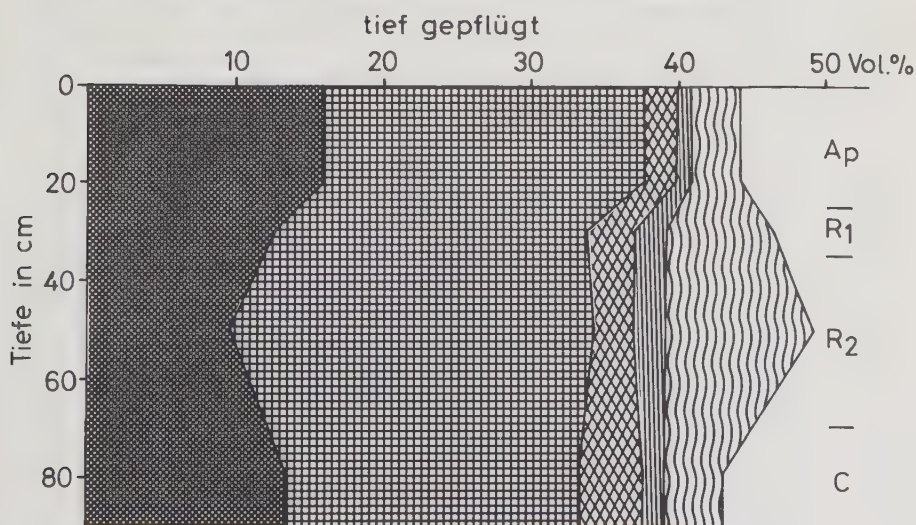
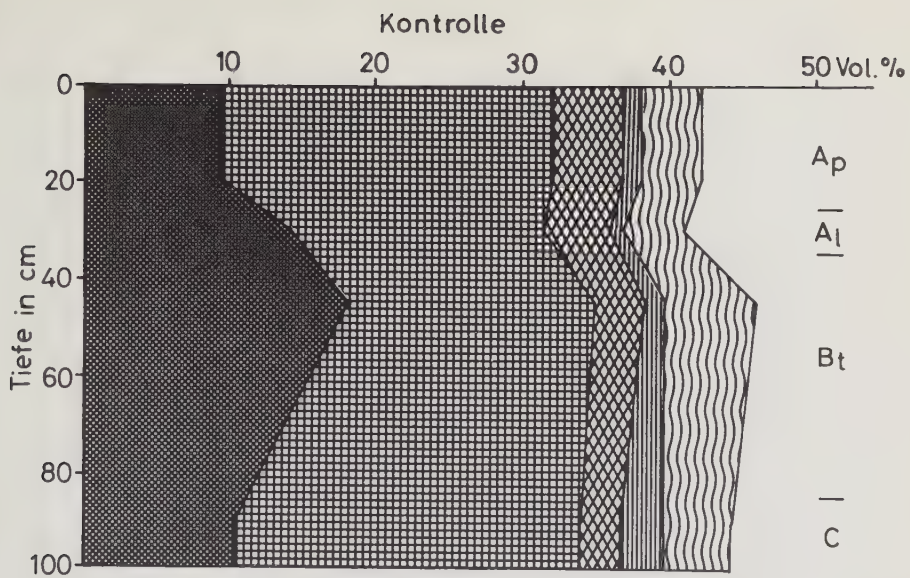


Abb. 21. Porengrößenverteilung am 27.11.68 in der Tiefpflugsanlage Marienhof

4.2.3.5 Bodenfeuchteverlauf

Die Feuchtigkeitsuntersuchungen wurden im September 1968 an je zwei Stellen aufgenommen (Tab. 4).

Da die Monate August und September niederschlagsreich waren, lagen die Wassergehalte im Herbst 1968 hoch, nämlich nahe der Feldkapazität. Allerdings wies der Unterboden der tiefgepflugten Parzelle bis zur Bearbeitungstiefe (70 cm) einen deutlich niedrigeren Wassergehalt auf, was einerseits auf die veränderte Porengrößenverteilung zurückzuführen ist und andererseits auf eine offensichtlich stärkere Wasserentnahme durch den Mais dieser Parzelle hinweist.

Die Feuchtigkeitsmessungen wurden im April 1969 festgesetzt. Die Ergebnisse von je einer Meßstelle mit Winterweizen sind in der Tab. 5 dargestellt.

Am 2. April 1969 war nach vorangegangenen Niederschlägen noch keine Abtrocknung auf beiden Parzellen festzustellen. Der Wassergehalt zeigt in der Krume der tiefgepflügten Parzelle etwas höhere Werte als in der Kontrolle, während die tieferen Schichten in der Kontrolle einen größeren Wassergehalt aufweisen.

Nach reichlichen Niederschlägen im April, vor allem im Mai und Anfang Juni wies der Boden am 10. Juni immer noch einen hohen Wassergehalt auf. Erst danach nahm der Wassergehalt bei trockener Witterung und infolge des hohen Wasserbedarfs des Weizens in den Sommermonaten stark ab. Er lag in den oberen Dezimetern bei den Messungen am 24. 7. und 5. 8. z.T. am permanenten Welkepunkt. Der Unterboden verfügte jedoch noch auf beiden Parzellen über Wasserreserven.

Besonders herauszustellen ist, daß sich der tiefgepflügte Boden und die Kontrolle hinsichtlich des Feuchteverlaufs sehr ähnlich verhielten, denn gesicherte Unterschiede in den Wassergehalten traten nicht auf. Daraus kann gefolgert werden, daß die Durchwurzelbarkeit des tiefgepflügten Bodens die gleiche ist wie die der Parabraunerde.

Tab. 4 Bodenfeuchteverlauf (Vol.%) unter Mais 1968

Tiefe cm	9.9.	25.9.	13.10.	11.11.	9.9.	25.9.	23.10.	11.11.
<u>Kontrolle: Meßstelle I</u>					<u>tiefgepflügt: Meßstelle I</u>			
10	35,1	39,9	37,3	35,1	33,0	36,8	37,0	37,4
20	33,8	38,2	37,6	35,2	32,9	34,7	34,5	36,6
30	30,8	35,5	32,8	31,8	30,8	33,9	34,0	32,9
40	28,4	34,4	33,1	32,4	31,5	32,6	33,7	33,6
50	29,9	35,5	32,1	32,3	30,6	31,3	31,8	33,9
60	34,5	38,0	35,3	34,9	31,7	31,1	31,5	33,8
70	36,8	39,0	35,2	36,6	32,0	32,7	32,6	34,4
80	37,0	41,1	37,0	37,3	34,5	35,1	36,2	35,9
90	37,4	41,8	37,9	38,8	35,2	35,8	36,6	36,5
100	38,3	41,8	39,1	40,4	36,5	37,3	37,3	36,1
<u>Kontrolle: Meßstelle II</u>					<u>tiefgepflügt: Meßstelle II</u>			
10	34,5	38,3	36,3	34,7	37,3	35,8	36,7	33,7
20	33,4	36,9	37,8	35,5	37,2	34,4	36,1	33,5
30	32,8	36,1	36,9	35,6	34,3	30,2	32,7	32,6
40	34,7	36,1	35,0	36,1	36,4	32,8	33,3	33,1
50	34,6	35,2	35,5	33,8	36,9	30,9	34,2	31,8
60	36,1	36,7	36,2	34,2	36,2	32,3	34,6	32,6
70	38,7	37,3	38,1	35,4	37,6	35,6	33,0	34,6
80	40,3	37,4	37,7	36,1	38,8	38,2	41,2	40,0
90	40,0	38,2	39,0	38,5	35,3	38,8	40,9	39,8
100	36,1	37,5	38,2	39,7	33,7	39,8	38,2	39,8

Tab. 5 Bodenfeuchteverlauf (Vol.%) unter W.-Weizen 1969

Tiefe cm	2.4.	10.6.	26.6.	7.7.	24.7.	5.8.
<u>Kontrolle</u>						
10	35,5	31,8	25,4	16,7	8,8	14,3
20	34,1	33,5	24,1	18,5	12,4	12,6
30	35,6	34,0	25,1	19,5	14,2	13,4
40	38,2	34,0	27,5	23,3	16,5	19,6
50	37,4	31,8	26,8	27,0	22,1	22,6
60	38,1	33,5	30,7	29,7	25,3	26,4
70	40,3	30,0	33,0	31,1	27,7	28,7
80	39,5	36,1	35,7	32,8	30,9	28,1
90	40,2	36,6	38,2	35,1	32,1	27,2
100	38,4	37,5	36,7	33,4	30,7	n.b.
<u>tiefgepflügt</u>						
10	36,8	31,9	29,6	25,9	12,9	21,5
20	38,7	32,2	29,6	24,9	18,5	19,2
30	37,6	31,6	28,0	23,6	17,8	19,9
40	37,3	32,2	27,6	27,2	16,8	15,9
50	37,7	32,6	27,3	26,3	20,5	19,6
60	36,3	33,1	30,3	29,4	25,8	24,8
70	37,7	34,5	31,4	30,3	26,2	25,9
80	38,1	39,7	38,0	35,2	33,2	29,0
90	34,4	39,9	38,3	36,3	32,3	28,9
100	35,9	39,4	39,3	36,8	33,7	n.b.

4.2.4 Zusammenfassung

Die zweijährigen Untersuchungen hatten folgende Ergebnisse:

1. Durch den Tiefumbruch wurde der Tongehalt der neuen Ackerkrume erhöht. Er liegt mit ca. 20 % im Bereich des angestrebten Tongehaltes.
2. Der Gehalt an organischer Substanz im A_p -Horizont ist jedoch auf der tiefgepflügten Variante entsprechend niedriger und beträgt 1,0 % gegenüber 1,7 % auf der Kontrolle.
3. Das Gesamtporenvolumen und die groben Poren haben bis zur Bearbeitungstiefe (70 cm), mit Ausnahme der neuen Krume, zugenommen. Eine Krumenbasisverdichtung, die bei den anderen Tiefenbearbeitungsversuchen beobachtet wurde, konnte hier nicht festgestellt werden.
4. Die Bodenfeuchtemessungen unter Mais lassen erkennen, daß die Pflanzen auf der tiefgepflügten Variante die Wasservorräte des Unterbodens etwas stärker in Anspruch nehmen als auf der Kontrolle. Im Jahre 1969 unter Weizen war dies nicht festzustellen.

4.3 Tiefenbearbeitungsversuch auf einer sehr schluffreichen pseudovergleyten Parabraunerde bei Beberbeck

4.3.1 Standortverhältnisse

Die Domäne Beberbeck, Kreis Hofgeismar, liegt in einer Senke im westlichen Teil des Reinhardswaldes. Für die Versuchsdruchführung stellte die Staatsdomäne eine etwa 300 x 200 m = 6 ha große Ackerfläche zur Verfügung, die 255 - 265 m über NN auf einem schwach nach Norden abfallenden Rücken liegt, weitgehend einheitliche Bodenverhältnisse aufweist und intensiver Bewirtschaftung unterliegt. Typologisch ist der Boden eine schwach bis mäßig pseudovergleyte Parabraunerde aus Löß über Buntsandstein. Die Lößauflage ist i.a. mehr als 2 m mächtig.

Beschreibung eines typischen Profils

A _p	0 - 27 cm	dunkelgraubrauner (10 YR 4/2), mäßig humoser schwach lehmiger Schluff, schwach rostfleckig, stellenweise Reduktionsflecken und Schluffnester, Bröckelgefüge, Begrenzung deutlich und gerade
SA ₁	27 - 40 cm	gelblichbrauner (10 YR 5/4 - 6/4) lehmiger Schluff, schwach rostfleckig, Bröckelgefüge
SA ₁ B _t	40 - 55 cm	Übergangshorizont, stellenweise stärker rostfleckig, marmoriert
SB _{t1}	55 - 75 cm	gelblichbrauner (7,5 YR 4/4) stark lehmiger Schluff, mäßig rostfleckig, Prismengefüge mit Tönhäutchen, Regenwurmgänge
SB _{t2}	75 cm +	stark rostfleckig, lehmiger bis stark lehmiger Schluff, Platten- bis Prismengefüge, dicht gelagert

Der Tongehalt des Oberbodens ist mit 9 % sehr gering (Tab. 6). Er beträgt auch im SB_{t1} -Horizont nicht mehr als 21 %. Da auch der Sandanteil sehr gering ist, kann der Boden als eine außergewöhnlich schluffreiche Parabraunerde angesehen werden.

Tab. 6 Korngrößenverteilung ($\emptyset$ in μ) vor der Melioration

Hori- zont	Ton 2	Fein- schluff 2-6	Mittel- schluff 6-20	Grob- schluff 20-63	Fein- sand 63-200	Grob- sand 200-2000
A_p	9,0	8,6	22,3	55,7	2,6	1,7
$SA_{\perp}$	14,8	5,7	20,2	56,9	1,4	1,0
SB_{t1}	21,2	5,7	18,1	53,5	1,1	0,4
SB_{t2}	18,9	6,1	18,1	54,4	1,2	0,4
B_{VS}	18,6	4,5	15,8	58,2	2,1	0,7

Das Profil ist vollständig entkalkt. Die Bodenreaktion liegt mit Ausnahme des durch die Düngung direkt beeinflussten A_p -Horizontes im stark sauren bis sehr stark sauren Bereich (Tab. 7).

Die Austauschkapazität zeigt in Abhängigkeit vom Humus- (2,8% organische Substanz) bzw. Tongehalt höhere Werte im A_p - und SB_{t1} -Horizont (Tab. 6). Die Basensättigung ist mit einem Wert von 40 % gering. Besonders Ca und K zeigen große Fehlbeträge, während die Mg-Sättigung nach SCHMID (1966) als beinahe ausreichend bezeichnet werden kann.

Die Porositätsverhältnisse (vgl. dazu auch Abschnitt 4.3.4.2) sind in der Ackerkrume während des Jahres größeren Schwankungen unterworfen. Auffallend ist dabei die starke Neigung zur Verschlammung, was vor allem auf den hohen Schluffgehalt zurückzuführen ist. Die Rost- und Reduktionsflecken weisen auf mindestens zeitweise auftretenden Luftmangel hin. In

diesem Zusammenhang muß man sich fragen, ob die Pflugtiefe von ca. 27 cm bei diesem Boden unter dem relativ feuchten Klima nicht zu groß ist.

Tab. 7 Bodenreaktion, Austauschkapazität und Kationenbelegung vor der Melioration

Horizont	pH-Wert	AK _r mval/100 g	AK _t g	V-Wert %	Kationenbelegung in % der AK _t				
					H+Al	Na	K	Ca	
A _p	5,0	12,7	14,2	45,0	55,0	0	0,6	32,6	11,8
SA ₁	4,4	6,7	7,7	60,3	39,2	0	0,6	50,8	9,5
SB _{t1}	3,9	11,2	13,7	40,3	59,6	0	0,4	27,3	12,7
SB _{t2}	3,7	10,6	10,0	39,8	60,2	0	0,4	35,6	3,7

Im Unterboden ist mit zunehmender Tiefe eine merkliche Abnahme des Gesamtporenvolumens und der groben Poren zu verzeichnen. Während im SA₁- und z.T. auch im SB_{t1}-Horizont der Anteil der groben Poren ($\phi > 10 \mu$) im allgemeinen noch um 10 Vol.% liegt, sinkt er im SB_{t2}-Horizont oft unter 6 Vol.%, einen für die ausreichende Durchlüftung viel zu geringen Wert, zumal die Poren 10 - 50 (sog. langsam dränende Poren) nur teilweise Luft führen. Bei der konventionellen Bestimmung der Feldkapazität (vgl. DIN 19682/1969) sind diese Poren größtenteils mit Wasser gefüllt.

Aufgrund des geringen Kolloidgehaltes ist auch der Feinporenanteil nicht hoch, während die mittleren Poren mit 21 - 27 Vol.% einen sehr hohen Anteil haben.

Die Porositätsverhältnisse bedingen also eine sehr hohe nutzbare Wasserkapazität, aber keine optimale Durchlüftung. In Zusammenhang mit dem feuchten Klima muß daher der Ackerbau auf diesem Boden unter erschwerten Bedingungen betrieben werden.

Die mittlere Jahresniederschlagsmenge beträgt 725 mm und die mittlere Jahrestemperatur $7,8^{\circ}\text{C}$. Außerdem ist auf die von Waldflächen umgebene windgeschützte Lage hinzuweisen (geringere Abtrocknung bzw. Verdunstung).

Ein großer Teil der Ackerschläge des Betriebes erhielt bereits eine Volldränung, das Versuchsfeld jedoch nicht. Es wird lediglich von mehreren Sammiern und in Abständen von ca. 80 m von Fangdräns durchquert. Diese verhindern das Auftreten von Hangwasser in größerem Umfange.

4.3.2 Versuchsanlage

Der Bodenverbesserungsversuch wurde im Herbst 1968 im Rahmen des Forschungsauftrages, den das Institut für Bodenkunde und Bodenerhaltung und das Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung gemeinsam bearbeiteten, angelegt.

Die Versuchsanlage umfaßt sechs 300 m lange Parzellen mit folgenden Behandlungen (Abb. 22, vgl. auch GRASS 1969):

1. Rohrdränung (Dräntiefe 80 cm, Saugerabstand 12 m)
2. Tiefpflügen (80 cm tief)
3. Tieflockern (70 - 80 cm tief, Lockerungsabstand 80 cm)
4. Kontrolle
5. Tiefpflügen (wie Nr. 2)
6. Maulwurfsdränung (55 - 60 cm tief, Dränabstand 3 m)

Die Tiefenbearbeitung wurde von der Firma Davids, medelby und Atzenhain, durchgeführt. Als Zugkraft dienten 150 PS-Raupen. Die o.g. Parzellen sind in drei kalkvarianten unterteilt:

- I ohne Kalk
- II 100 dz Kalk je ha, davon beim Tiefpflügen 75 dz in den Unterboden eingepflügt und bei der Lockerung 32 dz in den Unterboden eingeblasen; der Rest nach der Tiefenbearbeitung gestreut.
- III 302 dz Kalk je ha, davon beim Tiefpflügen 200 dz eingearbeitet und beim Tieflockern 32 dz eingeblasen; der Rest nach der Tiefenbearbeitung gestreut.

auf der Kontrolle wurde die entsprechende Kalkmenge in einer Gabe gestreut. Gekalkt wurde mit Branntkalk. Die tiefgepflügten Parzellen bekamen zusätzlich eine Ausgleichdüngung von 60 kg P und 135 kg K je ha als Khe-Ka-Phos für das vergrabene Krümmaterial.

Bei den bodenkundlichen Untersuchungen konnten in dieser sehr umfangreichen Versuchsanlage nicht alle Varianten berücksichtigt werden. Unser Interesse beschränkte sich auf die Auswirkungen des Tiefpflügens und Tieflockerns. Von der Rohrdränung war keine Gefügeverbesserung zu erwarten, während das überkapillare Wasser auch auf den übrigen Varianten durch die bereits erwähnten Fangdräns mindestens teilweise aufgenommen wurde. Von der Maulwurfsdränung schließlich war auf diesem schluffreichen Boden keine nachhaltige Wirkung zu erwarten. Aber auch mit einer wirksamen Gefügeverbesserung, die bei diesem Boden von Anfang an erforderlich erschien, konnte bei der Arbeitstiefe von nur 55 - 60 cm und dem zu großen Dränabstand von 3 m nicht gerechnet werden.

4.3.3 Die Witterung während des Untersuchungszeitraumes

In Abb. 23 sind die monatlichen Niederschläge in dem Untersuchungszeitraum von September 1966 bis Dezember 1969 den langjährigen Monatsmitteln gegenübergestellt. Das Zahlenmaterial der Wetterstation Beberbeck stellte uns der Deutsche Wetterdienst Offenbach zur Verfügung.

Während der Zeitraum der Versuchsanstellung (September 1966) trocken war, fielen in den Jahren 1967 mit 915,9 mm und 1968 mit 881 mm überdurchschnittlich hohe Niederschläge. Die Niederschlagssumme des Jahres 1969 (728 mm) entsprach etwa dem langjährigen Durchschnitt (725 mm). Besonders niederschlagsreich waren die Monate August und September 1968 und sehr trocken der September 1969.

100dz Kalk/ha	ohne Kalk	300dz Kalk/ha	
45 m			1 Rohrdränung
30 m			2 tief gepflügt
30 m			3 tief gelockert
30 m			4 Kontrolle
30 m			5 tief gepflügt
30 m	← 105 m →	← 90 m →	6 Maulwurfsdränung 3m Abstand

Abb. 22. Skizze der Versuchsanlage Beberbeck

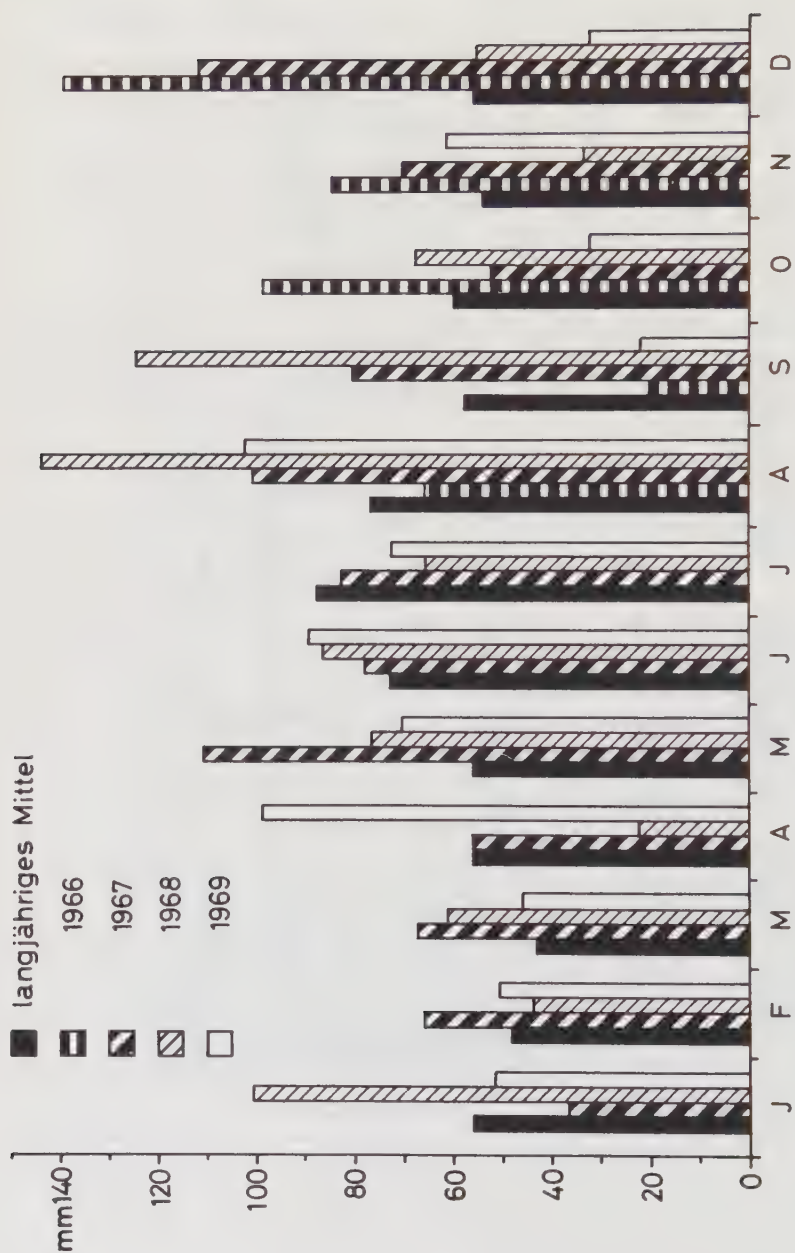


Abb.23. Monatssummen der Niederschläge in Beberbeck

4.3.4 Wirkung der Tiefenbearbeitung auf die Bodeneigenschaften

4.3.4.1 Chemische Daten

Durch das Tiefpflügen wurde der Tongehalt des Oberbodens von 6 - 7 % auf 10 - 12 % erhöht (Tab. 8). Der angestrebte Tongehalt von ca. 20 % (GROSSE 1964, BENECKE und RENGGER 1967, RENGGER 1968) konnte jedoch infolge des relativ niedrigen Tongehaltes im B_t -Horizont bei weitem nicht erreicht werden. Das humusreiche A_p -Material wurde zu einem großen Teil in Gestalt von schrägen Balken begraben (Abb. 24), weshalb die neue Krume einen geringeren Humusgehalt aufweist (Tab. 8).

Die Tieflockerung hat auf die Textur keinen gesichert messbaren Einfluß gehabt. Lediglich in dem schmalen Lockerungsschlitz konnten bei Aufgrabungen geringfügige Mengen humosen A_p -Materials beobachtet werden.



Abb. 24 Bodenprofil nach dem Tiefumbruch. Deutlich sichtbare Kalkanhäufungen zwischen A_p - und Unterbodenmaterial. Vergrabenes A_p -Material weist Reduktionserscheinungen und Rostflecken auf.

Tab. 8 Einige chemische Kenndaten der Ackerkrume, drei Jahre nach der Melioration (Mittelwert von je drei Entnahmestellen)

Variante	Ton			organ. Substanz			Carbonate		
				%			%		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c
ohne CaO	6,5	7,7	11,9	2,55	2,65	1,77	0,02	0,06	0,07
100 dz CaO	6,0	8,2	10,1	2,64	2,60	1,76	0,18	0,17	0,14
302 dz CaO	7,0	7,4	10,4	2,78	2,77	1,61	0,68	0,47	0,59

a = Kontrolle, b = tiefgelockert, c = tiefgepflügt

Entsprechend dem geringen Mischeffekt verursacht das Tieflockern auch keine direkte Änderung der Bodenreaktion (Tab. 9). Dagegen liegt der pH-Wert der neu entstandenen Krume auf der Tiefflugparzelle unter dem entsprechenden Wert der Kontrolle, was auf die Beimischung von stark saurem Unterbodenmaterial zurückzuführen ist.

Stärkere pH-Änderungen verursachte die Kalkung. So bewirkten 100 dz Kalk im A_p-Horizont eine pH-Anstieg von 5,5 - 5,8 auf 6,4 - 6,8 und 302 dz sogar über 7,0 (Tab. 9), so daß mit dieser Kalkgabe eine als optimal angesehene Bodenreaktion in der Krume (SCHMID 1965) erreicht wurde. Dagegen war der Einfluß der Kalkung auf die Bodenreaktion im Unterboden nur gering. Auf der Parzelle ohne Tiefenbearbeitung (Kontrolle) stieg zwar der pH-Wert in 30 cm Tiefe von durchschnittlich 5,1 auf 5,5 bzw. 5,6 an (Tab. 9). In den tieferen Horizonten liegen jedoch die Unterschiede innerhalb der Fehlergrenze. Auf der Lockerungsparzelle weisen die gekalkten Varianten trotz der eingebrachten Kalkmenge von 32 dz/ha keinen pH-Anstieg auf. Lediglich auf der tiefgepflügten Parzelle ist eine stärkere Kalkwirkung festzustellen.

Tab. 9 Bodenreaktion, drei Jahre nach der Melioration
(Mittelwert von je drei Entnahmestellen)

tiefe cm	ohne CaO			100 dz CaO/ha			302 dz CaO/ha		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c
10	5,8	5,7	5,5	6,7	6,8	6,4	7,1	7,1	7,2
30	5,1	5,0	5,6 ¹	5,5	5,2	6,8 ¹	5,6	4,9	6,6 ¹
45	4,4	4,7	4,4 ²	4,4	4,7	4,9 ²	4,8	4,7	5,7 ²
70	3,9	4,1	n.b.	4,0	4,1	n.b.	3,9	4,4	n.b.

a = Kontrolle, b = tiefgelockert, c = tiefgepflügt

1 = A_p-material aus 30 und 45 cm Tiefe

2 = Unterbodenmaterial aus 30 und 45 cm Tiefe

Aus den Durchschnittszahlen der Tabelle 9 kann gefolgert werden, daß die Wanderung von Ca-Ionen im Boden langsam vor sich ging. Über ähnliche Ergebnisse berichten auch ZIEMER und MÜCKENBERG (1954), KURON und JUNG (1961) und GORA (1965). Auch MÜCKENHAUSEN (1961) weist darauf hin, daß eine Oberflächenkalkung in sorptionsfähigen Gaben weitgehend in der Krume sorbiert wird und auf einem sandigen Lehm ungefähr 50 Jahre benötigen würde, um in etwa 50 cm Tiefe eine nennenswerte Verbesserung der Bodenreaktion zu bewirken. Dagegen konnte SCHMID (1965) auf einer schwach pseudovergleyten Parabraunerde aus LÖB wenige Jahre nach einer Oberflächenkalkung mit 165 dz CaO/ha einen pH-Anstieg bis 60 cm Profiltiefe feststellen.

Besonders bemerkenswert ist jedoch die fast fehlende Kalkwirkung in Unterboden nach dem Tieflockern. Die eingeblasene Kalkmenge von 32 dz/ha ist, worauf auch GRASS (1969) hinweist, viel zu gering, um die Bodenreaktion des gesamten Unterbodens zu verändern. Über eine schlechte Kalkverteilung bei der Tieflockerng mit Tiefkalkung berichten auch MEIMBERG (1967) auf Parabraunerden

und Pseudogleyen sowie HUSEMANN et al. (1962) in Marschböden. Sie fanden in Übereinstimmung mit den Gießener Versuchen nur in den Lockerungsgängen eine Verbesserung der Bodenreaktion. Überraschend ist ferner das niedrige pH in 30 cm Tiefe im Vergleich zur Kontrolle, das wir auch schon ein Jahr zuvor festgestellt hatten. Der Grund dafür dürfte darin zu suchen sein, daß die Vermengung des auf die Oberfläche gestreuten Kalkes mit dem Oberboden auf der Lockerungspartzeile noch schlechter gelang als auf der Kontrolle, da die Krume durch das Lockern in einen ungünstigen Strukturzustand versetzt wurde. Ob das Tieflockern innerhalb des Unterbodens doch einen Mischeffekt erzielte, wobei stärker saures B_t -Material angehoben wurde, ist nicht ganz auszuschließen, konnte jedoch nicht nachgewiesen werden.

Durchschnittliche pH-Zahlen bzw. pH-Werte von Mischproben spiegeln nicht den starken räumlichen Wechsel der Bodenreaktion im Bodenprofil wieder. Daher wurde im Herbst 1967 auf drei Parzellen der Variante mit 302 dz Kalk in verschiedenen Horizonten je 10 Proben entnommen. Der horizontale Abstand der Entnahmestellen betrug immer 10 cm. Die Ergebnisse der pH-Messung (Abb. 25) lassen eine starke Streuung der Werte besonders in den gekalkten Varianten erkennen. Dies deutet, wie auch die Ergebnisse der Carbonat-Bestimmung an gleichen Proben, auf eine schlechte Kalkverteilung bei der Tiefenbearbeitung hin.

Die mangelhafte Verteilung des Kalkes, die auf der Tiefpflugparzelle auch deutlich erkennbar ist (Abb. 24), wurde durch die Art der Kalkausbringung mit verursacht, da er nach dem Ausstreuen auf die Oberfläche einfach untergepflügt wurde. Nach einsetzenden Niederschlägen löschte der Branntkalk ab und vermörtelte anschließend. So entstanden CaCO_3 -Nester, die nicht nur in Tiefpflughorizonten, sondern jahrelang auch noch in der Ackerkrume zu beobachten waren. Eine bessere Kalkverteilung ist nur dann zu erwarten, wenn der auf die Oberfläche gestreute Kalk sofort mit dem Ober-

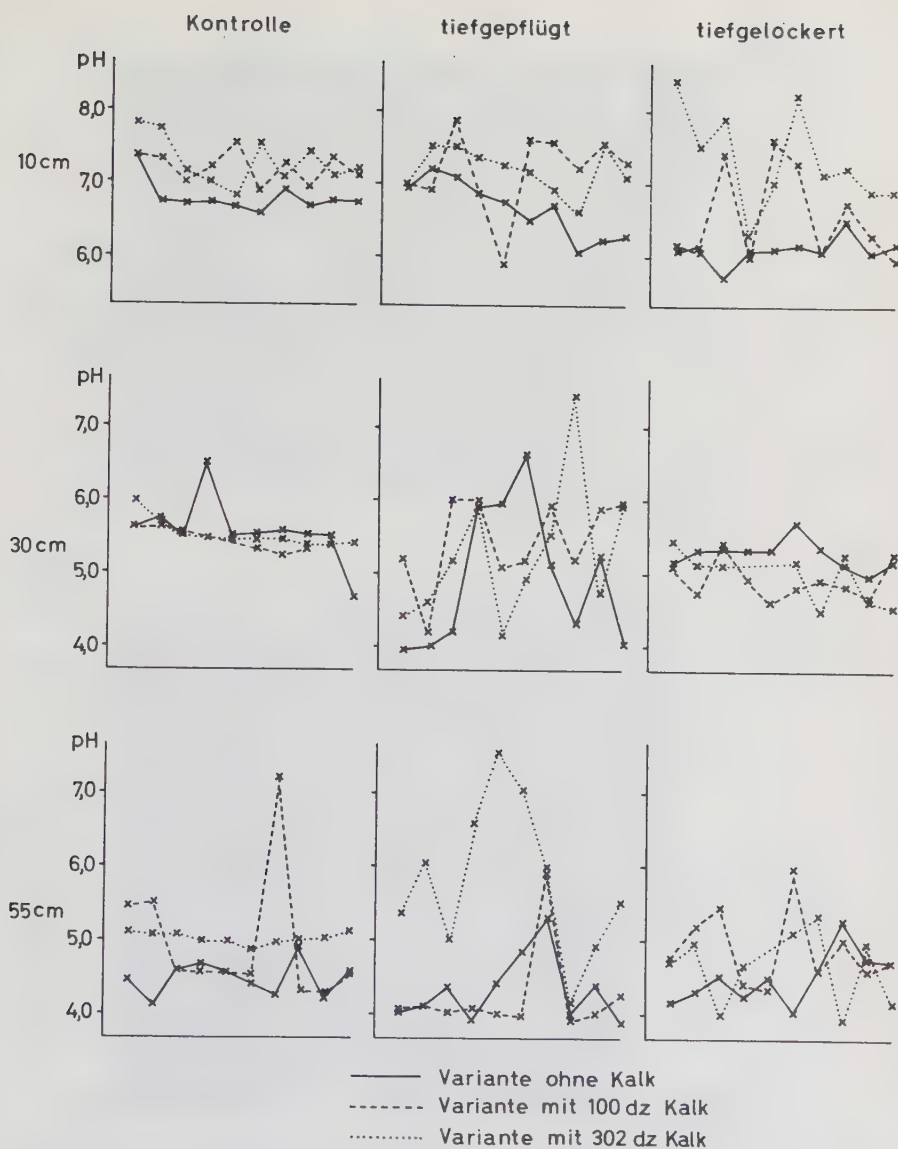


Abb.25. Streuung der pH-Werte von 10 Proben in drei Tiefen
(Beberbeck , Sept. 1967)

boden, der trocken sein muß, intensiv vermengt wird.

4.3.4.2 Porosität

Stechzylinderproben für die Untersuchung der Porenraumverteilung wurden in Beberbeck im Oktober 1966, im April 1967, im September 1967 und im April 1968 entnommen. Die Untersuchungsergebnisse (Abb. 26 - 30) vermitteln ein wenig einheitliches Bild, was weniger auf jahreszeitlich bedingte Schwankungen, sondern hauptsächlich auf zufallsbedingte Bodenunterschiede zurückzuführen ist. Diesen Fehler kann man nach CZERATZKI (persönliche Mitteilung an Dr. Harrach) am besten durch die Untersuchung von mindestens drei Profillen je Variante ausschalten, wie das später auch geschehen ist. Dennoch lassen die in den Abbildungen dargestellten Ergebnisse folgendes erkennen:

1. Das Tiefpflügen verursacht eine deutliche Abnahme des Anteils an groben Poren in der Ackerkrume und häufig auch im R_1 -Horizont (ca. 27 - 45 cm).
2. Eine gewisse Zunahme des Grobporenanteils ist nach dem Tiefpflügen im R_2 -Horizont (ca. 45 - 80 cm) festzustellen.
3. Das Tieflockern hatte auf die Porengrößenverteilung der Ackerkrume keinen gesicherten Einfluß, während es die Krumenbasisverdichtung¹ ebenfalls begünstigte, wie dies an der Abnahme der groben Poren im Tiefenbereich 28 - 45 cm einiger Profile erkennbar ist.
4. In der Lockerungsparzelle ist in einer Tiefe von 45 - 70 cm eine Zunahme der groben Poren festzustellen, die sich jedoch auf die relativ schmalen Lockerungsgänge beschränkt.

1) Krumenbasisverdichtungen sind nach SCHÖNHALS (1969) Verdichtungen, die in Ackerböden unterhalb der Krume durch mechanische Einflüsse (Druck, Schlupf, Rüttelung usw.) entstehen.

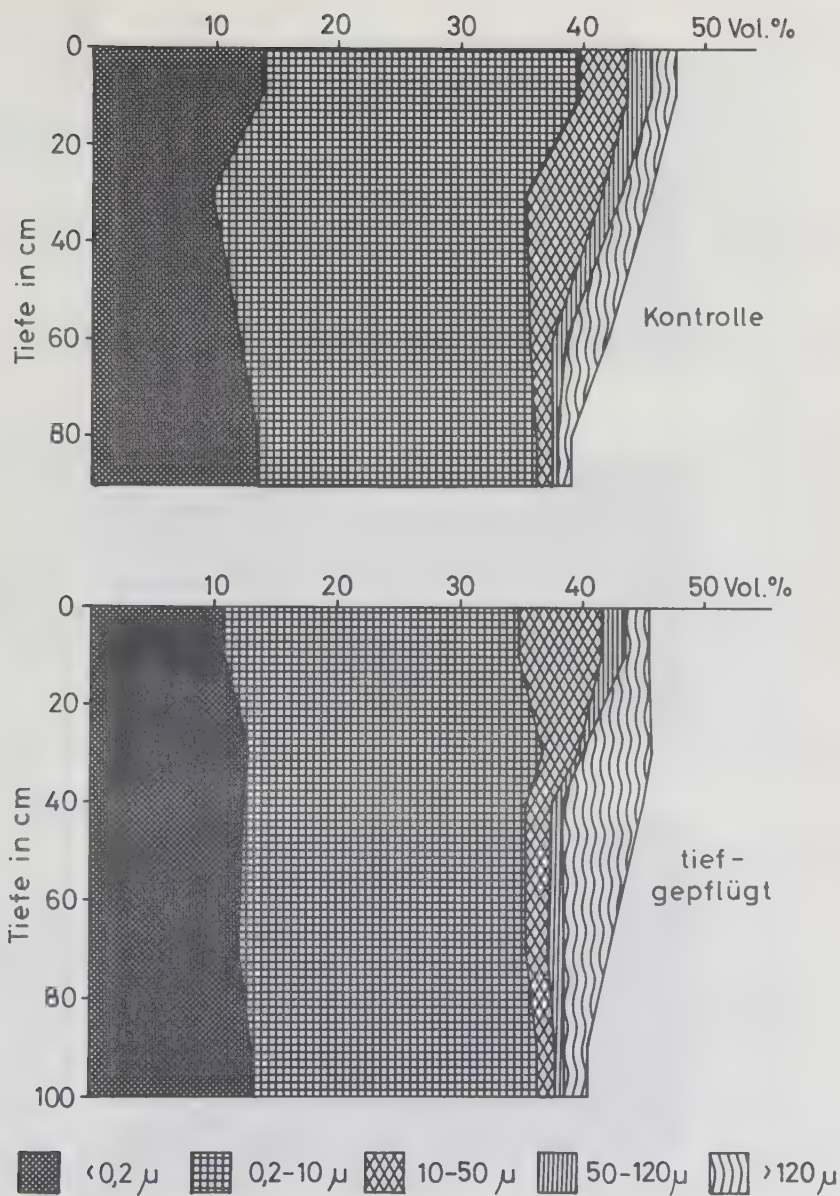


Abb. 26. Porengrößenverteilung am 7.10.1966 im Tiefen -
bearbeitungsversuch Beberbeck,
Variante ohne Kalk

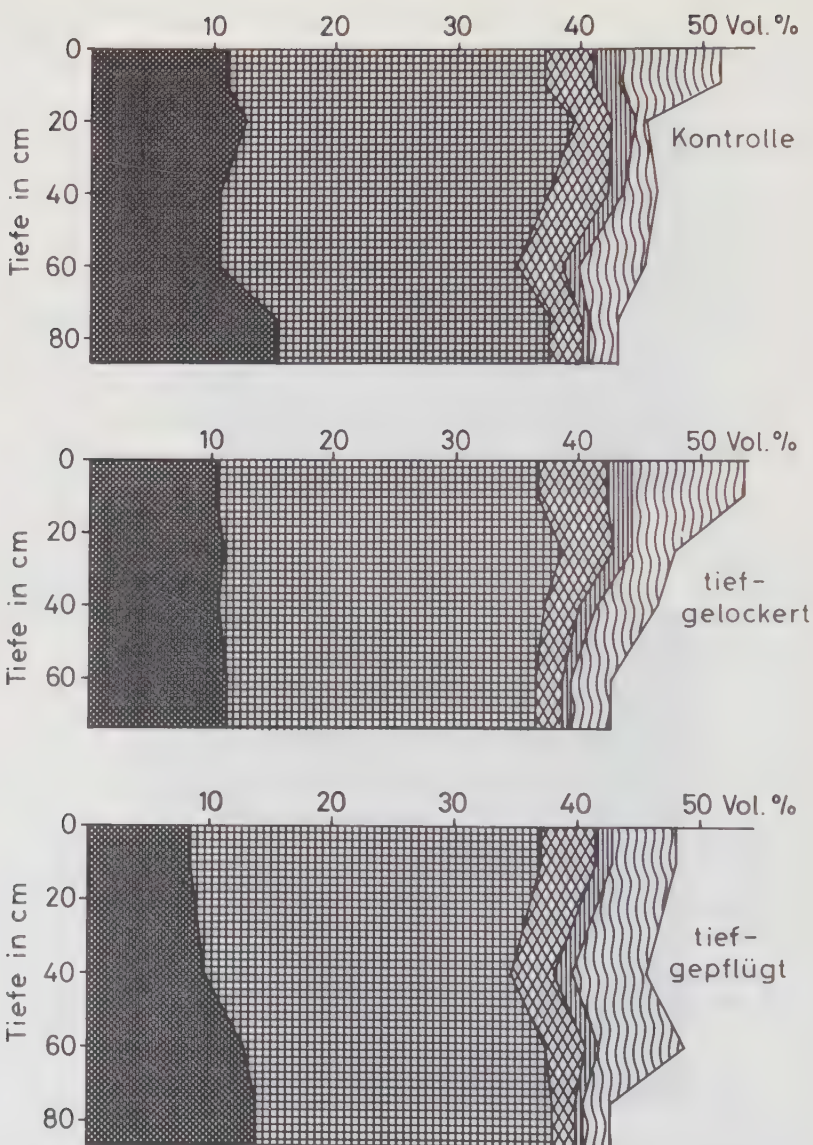


Abb.27. Porengrößenverteilung am 6.4.1967 im Tiefenbearbeitungsversuch Beberbeck, Variante mit 302 dz Kalk

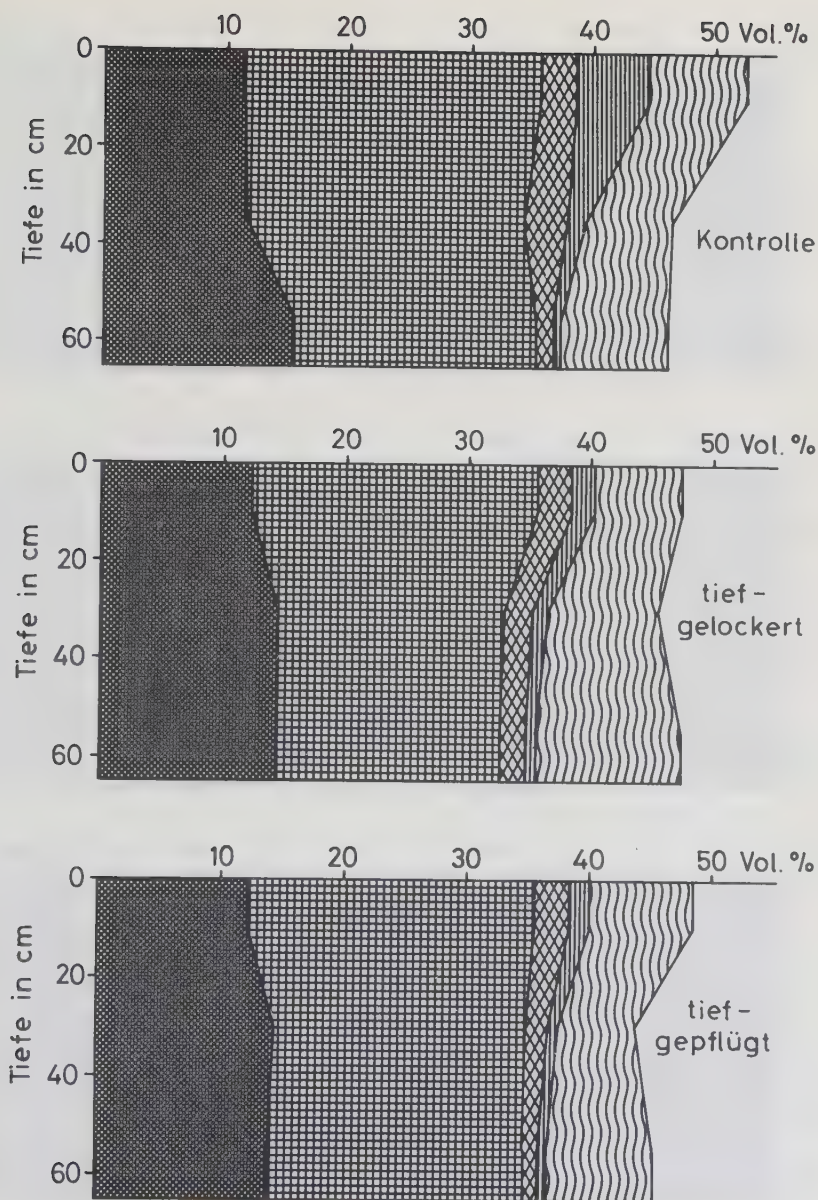


Abb. 28. Porengrößenverteilung am 12.9.1967 im Tiefenbearbeitungsversuch Beberbeck, Variante mit 302 dz Kalk

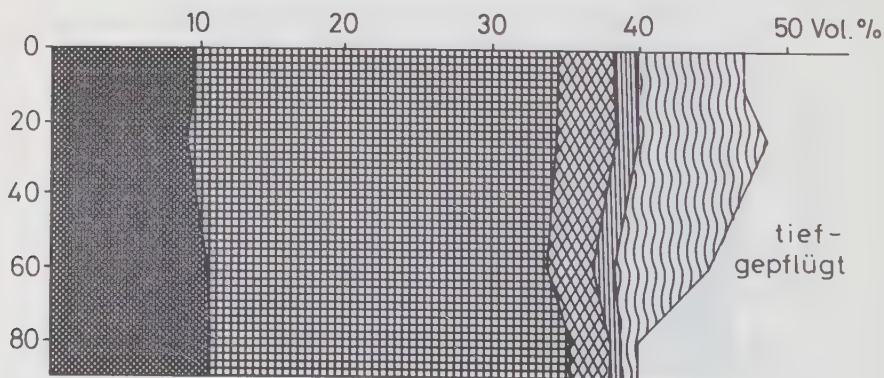
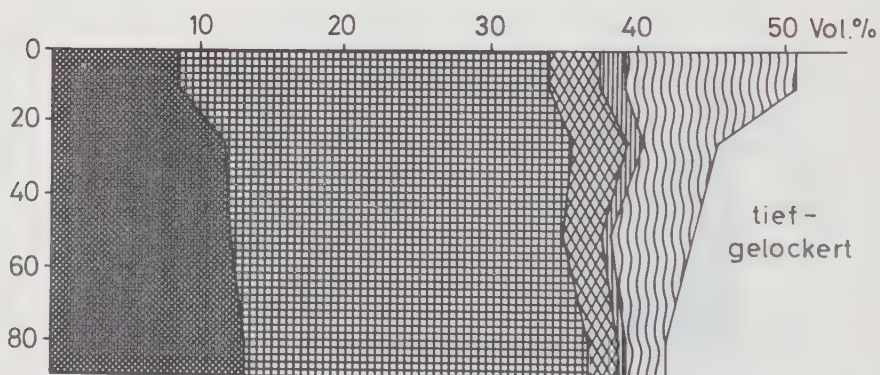
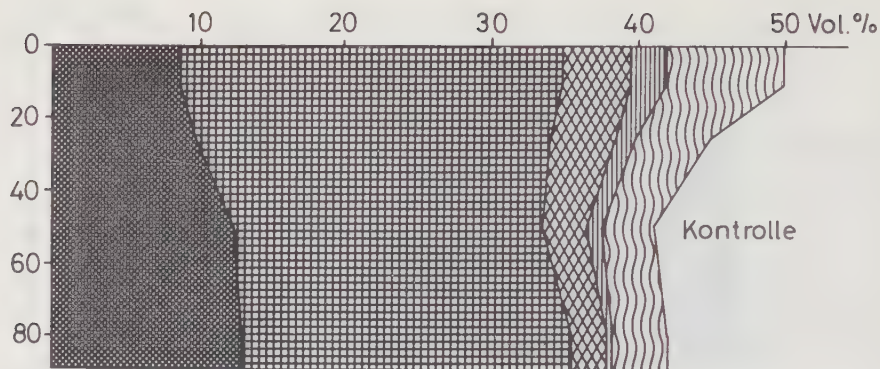


Abb.29. Porengrößenverteilung am 30.4.1968 im Tiefenbearbeitungsversuch Beberbeck, Variante ohne Kalk

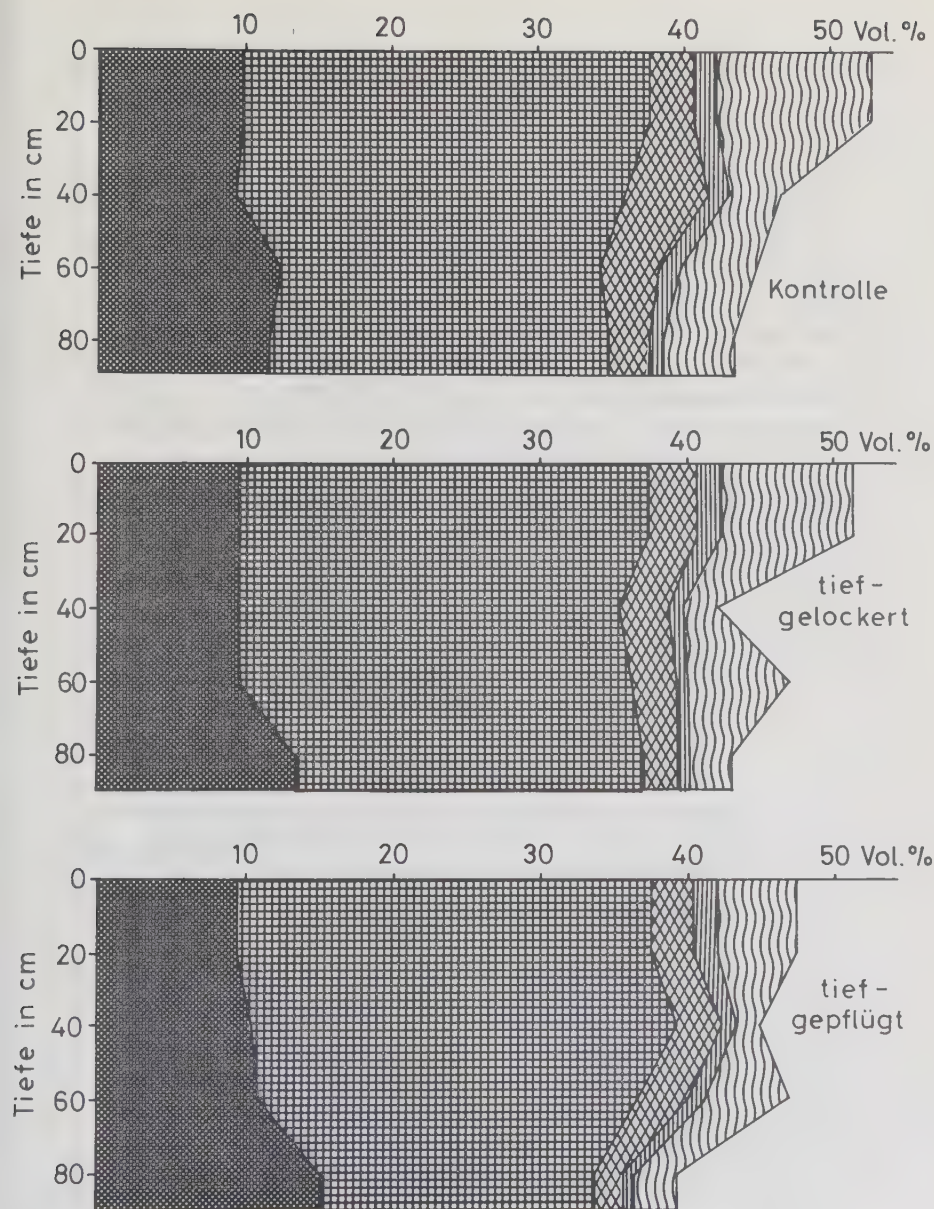


Abb.30. Porengrößenverteilung am 30.4.1968 im Tiefen -
bearbeitungsversuch Beberbeck, Variante mit 302 dz Kalk

5. Der Anteil der mittleren und feinen Poren ($\emptyset$ 0,2 - 10 μ und 0,2 μ) wurde weder durch das Tiefpflügen noch durch das Tierlockern eindeutig verändert.

Um eine Fenlbeurteilung durch zufallsbedingte Untersuchungsergebnisse auszuschließen, haben wir im Oktober 1969 vor der Ernte der Zuckerrüben auf den Bearbeitungs- und Kalkungsvarianten je drei Profilgruben aufgebrachen und Proben aus vier verschiedenen Tiefen entnommen. Infolge der sehr großen Zahl der Proben (432) war die Bestimmung der Porengrößenverteilung aus arbeitstechnischen Gründen unmöglich. Die Untersuchungen beschränkten sich daher auf die Ermittlung des Porenvolumens und des Wasser- und Luftgehalts zum Zeitpunkt der Probenentnahme.

Aus den Ergebnissen (Tab. 10), die die obigen Feststellungen bekräftigen und ergänzen, geht folgendes hervor:

1. Während das Tieflockern keinen gesicherten Einfluß auf das Gefüge des A_p -Horizontes zeigt, ist auf der Tiefpflugparzelle eine erhebliche Abnahme des Gesamtporenvolumens und des Luftvolumens in diesem Horizont festzustellen. Nur auf der Variante mit 100 dz Kalk ist diese Verschlechterung nicht so gravierend.
2. Unterhalb der Ackerkrume entstand nach dem Tiefpflügen eine Zone mit geringerem GPV und kleinerem Luftvolumen als in der Kontrolle. Eine solche Krumenoasisverdichtung war auf der Lockerungsparzelle in einigen Profilen ebenfalls nachweisbar.
3. Der tiergepilügte Boden lagert auch noch in der Tiefe von 45 - 50 cm dichter als die Kontrolle. Das GPV ist in dem ehemaligen unterbodenmaterial gering, während sich das frühere A_p -Material bei relativ hohem GPV durch besonders geringe Luftgehalte auszeichnet. Dieses Ergebnis bestätigt die visuelle Gefügebeurteilung, nach der die A_p -Balken einen geringeren Grobporenanteil aufweisen. Außerdem zeigen sie häufig Reduktionsflecken (vgl. auch Abb. 74).

4. Im Tiefenbereich von 70 cm blieb der Lockerungseffekt des Tiefpflügens am besten erhalten.
5. Auf der tiefeiglockerten Parzelle blieb der Lockerungseffekt (höheres GPV und Luftvolumen in 45 - 50 cm) noch besser aber in 70 cm Tiefe erhalten, jedoch nur im Lockerungsgang. Zwischen den Lockerungsgängen blieb die Porosität mehr oder weniger unverändert.
6. Sehr bedeutsam ist die Aussagefähigkeit der in Tab. 10 mitgeteilten Ergebnisse hinsichtlich der Kalkwirkung. Daraus geht nämlich eindeutig hervor, daß die zwischen den drei Kalkvarianten bestehenden Unterschiede nicht auf einer Kalkwirkung beruhen. Sie sind vielmehr zufallsbedingt. Bemerkenswert ist dabei, daß auf die Tiefpflugparzelle die Variante mit 100 dz Kalk - besonders im A_p-Horizont - relativ günstige Gefügemerkmale aufweist. Auf der gleichen Kalkvariante fallen die Kontrolle und die Lockerungsparzelle im Vergleich zu den anderen Kalkvarianten durch eine dichtere Lagerung auf, da der stärker verdichtete Unterboden hier flacher ansteht. Er wurde beim Tieflockern nur unbefriedigend aufgelockert.

4.3.4.3 Bodenfeuchteverlauf

Im Frühjahr 1967 wie auch in den darauffolgenden Jahren sowie nach starken Niederschlägen wurde auf den tiefgepflügten versuchsparzellen eine frühere Abtrocknung als auf den nicht tiefgepflügten Parzellen beobachtet (vgl. dazu Abb. 31).

Über ähnliche Beobachtungen auf tiefgepflügten Parabraunerden berichten auch CZERATZKI (1968) und SCHEFFER und MEYER (1970).

Die frühere oberflächliche Abtrocknung der tiefgepflügten Parzellen ist dadurch zu erklären, daß die raue Oberfläche der tiefgepflügten Parabraunerde den klimatischen Verdunstungsfaktoren eine größere Angriffsfläche bietet und deshalb von oben her sichtbar eher austrocknet. Diese

Tab. 10 Porositätsuntersuchungen im Oktober 1969 (Mittelwert aus je 3 Profilen)

Kalkvariante	Tiefe cm	Gesamtporenvolumen		Wassergehalt (Vol.%)		Luftgehalt (Vol.%)				
		Kontr.	gelock.	gepfl.	Kontr.	gelock.	gepfl.			
ohne Kalk	10	48,0	49,8	41,9	27,1	26,3	27,5	20,9	23,5	14,4
	30 ¹	44,3	45,8	44,5	26,7	28,3	29,4	17,6	17,5	15,1
	30 ²		43,9	39,6		28,9	30,2		14,9	9,4
	50 ¹	44,5	46,9	44,3	27,7	30,0	33,2	16,7	16,9	11,1
	50 ²		45,2	43,2		30,9	30,0		14,2	13,2
	70 ¹	42,0	49,1	45,2	33,0	28,7	33,2	8,9	20,4	12,0
	70 ²		43,2	44,3		30,4	31,7		11,8	12,6
100 dz Kalk	10	46,4	45,1	45,9	27,82	29,5	29,5	18,7	15,5	16,4
	30 ¹	44,0	40,7	43,0	27,30	31,4	30,8	16,7	9,3	12,2
	30 ²		44,5	42,2		30,7	31,6		13,6	10,6
	50 ¹	41,3	44,7	45,4	31,09	30,1	32,0	10,3	14,6	13,4
	50 ²		43,3	42,4		29,6	31,1		13,7	11,7
	70 ¹	39,4	48,3	43,9	33,16	27,7	32,5	6,2	20,5	11,5
	70 ²		39,7	43,1		30,6	30,9		11,2	12,1
302 dz Kalk	10	46,9	48,2	42,7	30,5	26,2	30,9	16,4	21,9	11,8
	30 ¹	43,8	45,7	43,7	28,7	29,0	34,2	15,0	16,6	9,5
	30 ²		42,2	39,9		28,6	32,6		13,6	7,3
	50 ¹	44,9	45,7	43,3	28,8	28,4	35,7	16,1	17,3	7,6
	50 ²		41,9	42,7		31,6	30,7		10,3	11,9
	70 ¹	42,6	48,6		32,1	30,5		10,4	18,1	
	70 ²		42,0	43,3		31,9	32,6		10,2	10,6

1) Beim Tieflockern: Lockerungsgang. Beim Tiefpflügen: Begrabenes Ap-Material

2) Beim Tieflockern: Zwischen den Lockerungsgängen. Beim Tiefpflügen: Unterbodenmaterial

Trockenschicht fungiert als Isolierschicht und hemmt dadurch die Verdunstung nach der Abtrocknung. Die Feuchtebestimmungen ergaben daher, daß die Abtrocknung auf die obersten Zentimeter unter der Oberfläche beschränkt war. So zeigte der Boden z.B. am 6. 4. 1967 bereits unterhalb 5 cm Tiefe einen etwas höheren Wassergehalt und eine geringere Äquivalent-Saugspannung als die Kontrolle (Tab. 11). Zugleich war auch das Luftvolumen geringer.

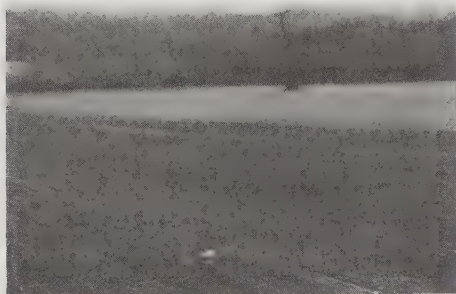


Abb. 31 Die tiefgepflügten Parzellen sind durch eine frühere Abtrocknung der Oberfläche gekennzeichnet.

Ähnliche Erscheinungen hat auch SIDIRAS (1969) auf einer tiefgepflügten Parabraunerde festgestellt, womit er u.a. die ungünstigen Keimungsbedingungen und den schlechten Stand der Saaten während der ersten Wochen nach der Aussaat erklären konnte.

Im Unterboden der tiefgepflügten Parabraunerde war jedoch am 6. 4. 1967 das Luftvolumen größer als in der Kontrolle (Tab. 11), was auf den größeren Grobporenanteil im R-Horizont zurückzuführen ist.

Der Wasser- und Luftgehalt des tiefgelockerten Bodens zeigte zu diesem Termin nur unwesentliche Abweichungen von den entsprechenden Daten der Kontrolle (Tab. 11).

Tab. 11 Wasser- und Luftgehalt (Vol.%) sowie Äquivalent-Saugspannung (pF) am 6. 4. 1967

Tiefe cm	Kontrolle		pF	tiefgepflügt		pF	tiefgelockert		pF
	Wasser	Luft		Wasser	Luft		Wasser	Luft	
5-15	41,7	9,9	1,8	42,1	5,9	1,4	42,4	10,8	1,8
30-40	41,8	4,7	1,9	38,7	6,7	1,8	42,2	5,7	1,8
50-60	38,9	6,5	1,8	41,2	7,3	1,4	40,3	6,1	1,8
70-80	40,1	3,0	1,8	39,2	3,2	1,4	38,4	4,4	1,8

Bei der Probennahme nach der Haferernte (Tab. 12) enthielt der Boden immer noch recht viel Wasser, obwohl der Hafer als eine Pflanze mit hohem Wasserverbrauch gilt.

Tab. 12 Bodenfeuchte (Vol.%) Äquivalent-Saugspannung (pF) am 12. 4. 1967

Tiefe cm	Kontrolle		tiefgepflügt		tiefgelockert	
	Wasser	pF	Wasser	pF	Wasser	pF
0-10	36,0	2,5	38,3	1,8	35,8	2,5
30-40	36,5	1,8	36,0	2,2	35,4	1,8
50-60	36,2	1,8	35,0	2,1	33,6	2,3

Hohe Niederschläge während der Vegetationsperiode hatten zur Folge, daß die Bodenfeuchte kaum unter die Feldkapazität sank. Der Unterboden der Versuchspartellen mit Tiefenbearbeitung hatte einen geringfügig niedrigeren Wassergehalt als die Kontrolle. Die Unterschiede waren zwar statistisch nicht gesichert, sie deuten dennoch einen etwas stärkeren Wasserentzug durch die Pflanzen aus den tieferen Horizonten der meliorierten Partellen an. Ähnliches stellten auch GLIEMEROTH et al. (1968) und CZERATZKI u. SCHULZE (1970) fest. Die Erklärung dafür ist auf die stärkere Durchwurzelung der durch die Tiefenbearbeitung erfaßten Unterbodenbereiche zurückzuführen, die von GRASS (1969) auch in Beberbeck nachgewiesen wurde.

Im Frühjahr 1968 waren die Bodenfeuchte- und Abtrocknungsverhältnisse ähnlich wie im vorangegangenen Jahr. Auf der tiefgepflügten Versuchsparzelle zeichnete sich jedoch nicht nur der A_p -Horizont, sondern auch der R_1 -Horizont durch Luftmangel aus (Tab. 13), was eine Folge der im Kapitel 4.3.4.2 beschriebenen Wiederverdichtung war.

Tab. 13 Wasser- und Luftgehalt (Vol.%) sowie Äquivalent-Saugspannung (pF) am 30. 4. 1968

Tiefe cm	Kontrolle			tiefgepflügt			tiefgelockert		
	Wasser	Luft	pF	Wasser	Luft	pF	Wasser	Luft	pF
10-20	36,6	16,0	2,7	37,3	10,2	2,5	37,5	14,0	2,5
30-40	40,0	6,5	2,0	40,0	4,9	2,4	34,7	7,2	2,6
50-60	33,8	11,6	8,5	38,4	8,6	2,0	36,8	10,7	2,5
80-90	35,2	8,2	2,5	35,7	3,6	1,8	37,5	5,8	2,5

Infolge der schlechten Durchlüftung traten im begrabenen A_p -Material Reduktionserscheinungen auf. Die starke Fleckung ist auf Abb. 24 gut zu sehen.

Die während der Vegetationsperiode 1968 durchgeführten Untersuchungen ergaben im tiefgepflügten Boden z.T. wesentlich höhere Wassergehalte als in der Kontrolle (Abb. 32). Lediglich im August enthielt der R_2 -Horizont in der Tiefe von 40 - 80 cm etwas weniger wasser, was wiederum eine stärkere wasserentnahme in diesem Horizont durch den Winterweizen andeutet. Der tiefgelockerte Boden hatte auch z.T. höhere Feuchtegehalte als die kontrolle, die Unterschiede waren jedoch weniger groß (Abb. 32).

In der ersten Hälfte des Jahres 1969 hatte die Krume des tiefgepflügten Bodens und der Kontrolle unter Zuckerrüben höhere Wassergehalte als der tiefgelockerte Boden, während im Unterboden keine größeren Feuchteunterschiede festzustellen waren (Abb. 33). Im August trocknete die Krume auf der Kontrolle am wenigsten und auf der Lockerungsparzelle am stärksten aus. Zugleich entnahmen die Pflanzen aus dem Unterboden (30 - 50 cm) nur auf der Kontrolle relativ viel Wasser, aus dem dichteren R_1 -horizont des tiefgepflügten Bodens wesentlich weniger. Unterhalb 50 cm war der Wasserentzug auf allen drei Varianten gering.

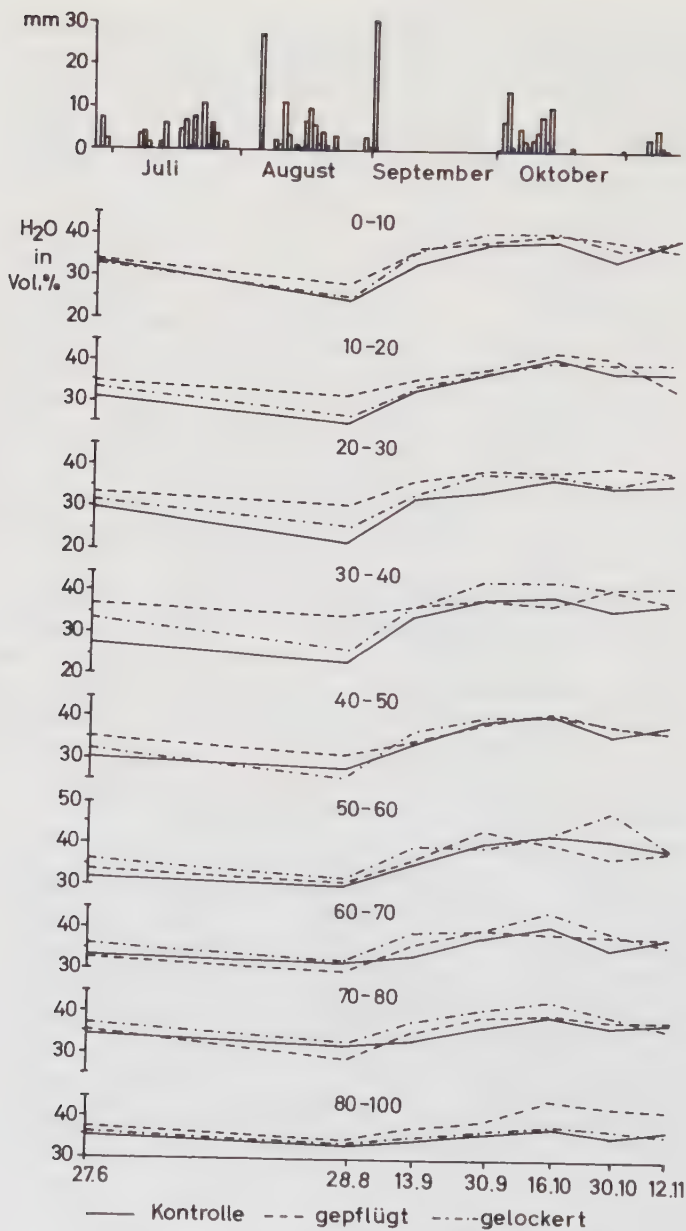


Abb. 32. Bodenfeuchte in Vol.% während der Vegetationsperiode 1968

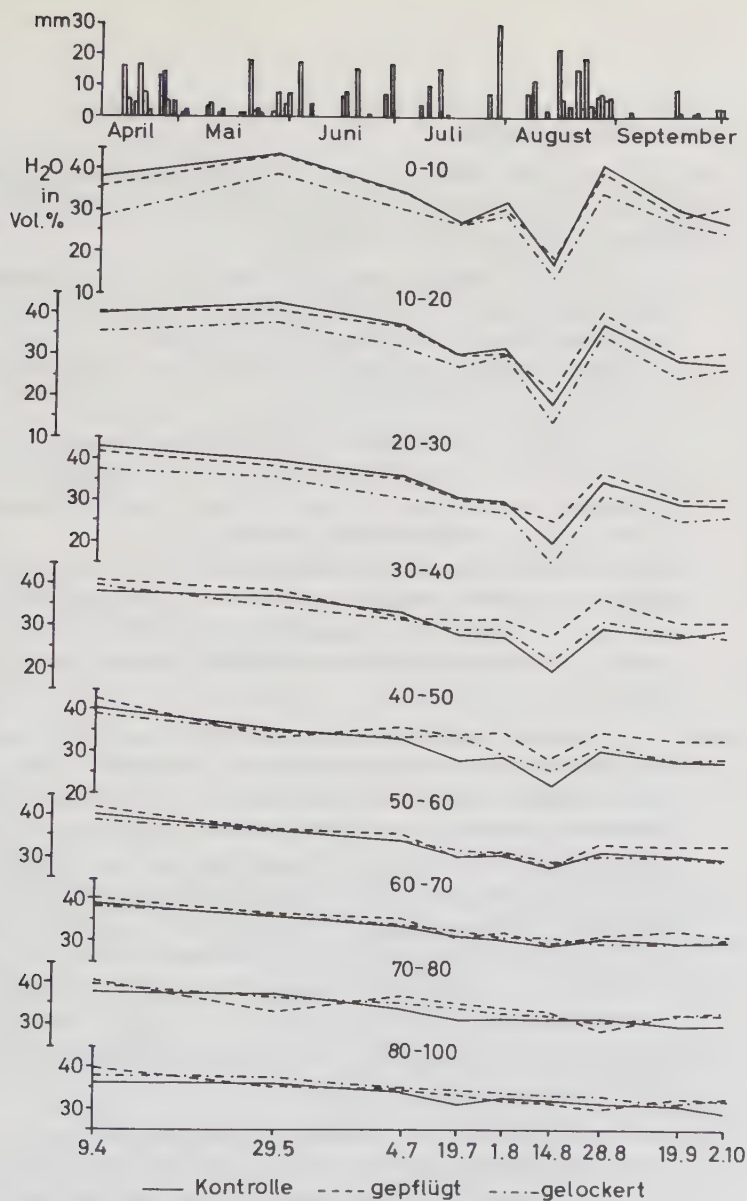


Abb. 33. Bodenfeuchte in Vol.% während der Vegetationsperiode 1969

4.3.5 Zusammenfassung

Von 1966 bis 1969 wurden im Tiefenbearbeitungsversuch Beberbeck chemische und physikalische Bodenuntersuchungen mit folgenden Ergebnissen durchgeführt:

1. Durch den Tiefumbruch wurde der Tongehalt der Krume nur geringfügig erhöht, der Humusgehalt jedoch infolge des Vergrabens eines großen Teils der früheren Krume stark reduziert. Dagegen hat das Tieflockern die Eigenschaften des A_p -Horizontes kaum verändert.
2. Die Wirkung der Kalkung auf die Bodenreaktion war in der Krume immer nachweisbar, jedoch je nach der Höhe der Kalkmenge unterschiedlich. Die vertikale Kalkverlagerung im Bodenprofil verlief sehr langsam. Der bei der Lockerung eingeblasenen Kalk hat nur stellenweise im Lockerungsgang einen pH-Anstieg bewirkt und auch der beim Tiefumbruch untergepflügte Kalk blieb schlecht verteilt, so daß im R-Horizont höhere pH-Werte nur nesterweise gemessen wurden.
3. Die Tiefenbearbeitung ist mit einer Erhöhung des Porenvolumens zugunsten der groben Poren verbunden, wobei diese Veränderungen nur in den tieferen Horizonten dauerhaft waren. Unmittelbar unter der Krume machte sich bereits kurze Zeit nach der Melioration eine Krumbasisverdichtung bemerkbar. Sie ist auf der tiefgepflügten Variante stärker ausgeprägt als auf der tiefgelockerten. Der A_p -Horizont ist auf der tiefgelockerten Parzelle kaum verändert, während er auf den tiefgepflügten versuchspartzellen deutlich dichter ist als auf der Kontrolle.
4. Ein Einfluß der Kalkung auf das Gefüge des Bodens konnte nicht festgestellt werden.
5. Der meliorierte Boden trocknet im Frühjahr früher ab. Diese Abtrocknung beschränkt sich aber nur auf die obersten 1 - 2 cm; unterhalb dieser Tiefe ist der meliorierte Boden meistens feuchter als die Kontrolle.

4.4 Dampfpflugmelioration auf einem Pseudogley bei Udenborn

4.4.1 Standortverhältnisse

Udenborn liegt in der Westhessischen Senke, 25 km südlich von Kassel. Die Untersuchungsfläche befindet sich ca. 1 km südöstlich des Ortes auf einem Plateau (Flurbezeichnung "Hintere Platte"), das der naturräumlichen Einheit "Grossengliser Platte" angehört (BÜRGENER 1963).

Die in etwa 220 m NN im Bereich von Pliozän- und Quartärschottern ausgebildete Verebnungsfläche ist von geringmächtigem Lösslehm überdeckt. Infolge der ebenen Lage und des tonigen Untergrundes überwiegen Pseudogleye; ein kennzeichnendes Profil hat folgenden Aufbau (Abb. 34):

A _p	0 - 25 cm	dunkelgraubrauner (10 YR 5/2 - 4/2) schwach lehmiger Schluff, mäßig humos, schwach kiesig, brockeliges Gefüge, einzelne Rostflecken, deutliche und gerade Begrenzung zum
S _w	25 - 40 cm	schmutziggrauer (5 YR 7/2) stark lehmiger Schluff, stark marmoriert, viele Konkretionen bis 15 mm Durchmesser, schwach plattiges Gefüge, dicht gelagert; deutliche zapfenförmige Begrenzung zum
IIB _t S _{d1}	40 - 60 cm	dunkelbrauner (7,5 YR 4/4) schluffig-toniger Lehm, stark marmoriert, subpolyedrisches Gefüge, Tontapeten, an der Basis auffallend Anhäufung von Grobkies, sonst undeutliche Begrenzung zum
IIB _t S _{d2}	60 cm +	dunkelbrauner (7,5 YR 5/6) schluffig-toniger Lehm, schwach kiesig, marmoriert, dickplattig-polyedrisches Gefüge mit gut sichtbarer Tonbelägen, in Schwundrissen bis zu 10 mm starke Tonausfüllungen, einzelne Regenwurmgänge



Abb. 34 Pseudogley bei Udenborn

Die Texturdifferenzierung des Profils (Tab. 14) ist einerseits auf eine starke Tondurchschlämmung, andererseits auf Substratunterschiede zurückzuführen. Der kiesig-tonige Unterboden ist nicht sehr homogen, er zeigt bereits auf kurze Entfernungen beachtliche Abweichungen in der Korngrößenzusammensetzung.

Der Unterboden (IIB_tS_d -Horizont) stellt einen ausgeprägten Staukörper dar, der sich vor allem durch geringen Grobporenanteil (etwa 4 %), nicht sehr hohen Mittelporenanteil (etwa 14 - 16 %), jedoch durch einen recht hohen Feinporenanteil (etwa 22 - 25 %) auszeichnet. Diese Porengrößenverteilung bedingt eine sehr geringe Wasserdurchlässigkeit ($K_f = 2,5 \text{ cm/Tag}$), weshalb es nach niederschlagsreichen Perioden - vor allem im Winter und Frühjahr - zur Bildung von Staunässe kommt. Das im S_w - und A_p -Horizont gestaute Wasser verursacht anaerobe Verhältnisse, begünstigt die Verschlämmung der schluffreichen Ackerkrume und verzögert die Erwärmung des Bodens im Frühjahr. Die Bestellung kann daher erst relativ spät durchgeführt werden. Dies führt zu einer kürzeren Vegetationszeit.

Die Durchwurzelung beschränkt sich im wesentlichen auf die oberen 3 - 4 Dezimeter (A_p - und S_w -Horizont), wobei der A_p -Horizont intensiver durchwurzelt ist als der S_w -Horizont. In den Staukörper reichen nur vereinzelt Wurzeln, und zwar entlang von Schwundrissen. Dies hat zur Folge, daß den Pflanzen die in den tieferen Horizonten gespeicherte Feuchtigkeit nicht oder nur teilweise zur Verfügung steht. Die nutzbare Wasserkapazität des durchwurzelbaren Bodenraumes beträgt jedoch nur etwa 60 - 70 mm. So darf angenommen werden, daß in längeren Trockenperioden die Bodenfeuchte schnell verbraucht wird und Dürreschäden auftreten, die zu ähnlichen Ertragsminderungen führen können wie Nässeschäden in niederschlagsreichen Perioden. Die Ertragsleistung dieses Bodens hängt daher wesentlich vom Witterungsverlauf, und zwar vor allem von der jahreszeitlichen Verteilung der Niederschläge ab.

Auf dem erwähnten Plateau ist der beschriebene Pseudogley weit verbreitet. Bei Kartierungsarbeiten von T. Harrach und G. Werner im Frühjahr 1968 fiel jedoch ein Ackerschlag auf, der sich durch wesentlich günstigere Bodeneigenschaften auszeichnet. Lediglich eine Ecke dieses Schlages - ein Dreieck mit den Seitenlängen von ca. 250, 230 und 55 m - setzt sich deutlich von der übrigen Fläche ab. Die dreieckige Ackerfläche wird von dem oben beschriebenen Pseudogley eingenommen, während der größere Teil des Schlages "Hintere Platte" einen meliorierten Boden aufweist, wie aus folgender Profilbeschreibung hervorgeht:

A_p	0 -	30 cm	sepiabrauner (10 YR 4/1) schwach lehmiger Schluff, mäßig humos, schwach kiesig, bröckeliges Gefüge, einzelne Rostflecken, undeutliche Begrenzung zum
-------	-----	-------	---

-
- 1) Der 80 jährige Schmied Georg Richter aus Udenborn erinnerte sich (1969), daß in den Jahren 1901 bis 1913 die Fa. Ottomeyer in dem damaligen Gutsbetrieb mit einem vierscharigen Dampfpflug mehrmals tätig gewesen ist und daß gelegentlich auch ein Einscharpflug mit Untergrundhaken eingesetzt wurde

- R₁ 30 - 50 cm brauner (10 YR 5/4) stark lehmiger Schluff, schwach kiesig, bröckeliges Gefüge, gut homogenisiert, einzelne bis 1 cm große poröse Kalkbröckeln unregelmäßig verteilt, wenig deutliche gerade Begrenzung zum
- R₂ 50 - 60/70 cm brauner (10 YR 5/4) schluffig-toniger Lehm, weniger homogenisiert, A₁-Partien etwas dicht mit bröckeligem Gefüge, B_t-Partien locker mit subpolyedrischem Gefüge, einzelne bis zu 1 cm große poröse Kalkbröckeln unregelmäßig verteilt, viele bis zu erbsengroße Mangan- und Eisenkonkretionen, vor allem in den Taschen, deutliche gerade Begrenzung, jedoch mit einzelnen Taschen* (Lockerungsgänge), zum
- IIB_tS_d 60/70 cm + dunkelbrauner (7,5 YR 5/4) schluffig-toniger Lehm, schwach kiesig, marmoriert, dickplattig-polyedrisches Gefüge mit gut sichtbaren Tonbelägen, in Schwundrissen bis zu 10 mm starke Tonausfüllungen, einzelne Regenwurmgänge.

Man kann also annehmen, daß der Boden bis zu einer Tiefe von ca. 70 cm bearbeitet wurde (bis etwa 60 cm gewendet und darunter gelockert) (Abb. 35). Diese Befunde stehen mit den Angaben von Herrn Richter in Einklang. Auch den Zeitpunkt betreffend scheint sicher zu sein, daß in den letzten 4 - 5 Jahrzehnten in der Gemarkung Udenborn derartige Maßnahmen nicht durchgeführt wurden. Man kann daher mit Sicherheit annehmen, daß die Melioration bereits vor dem Ersten Weltkrieg erfolgte. Der

* Diese Lockerungstaschen werden im folgenden auch als R₃-Horizont bezeichnet.

hohe Homogenitätsgrad des R_1 -Horizontes deutet darauf hin, daß mindestens dieser Bereich mehrmals gewendet wurde, während die zahlreich vorkommenden porösen Kalkbröckchen und die hohen pH-Werte (7,3 - 7,5) von der Einarbeitung größerer kalkmengen (wahrscheinlich Scheideschlamm aus der nahe gelegenen Zuckerfabrik in Wabern) bei der Melioration herrühren dürften.

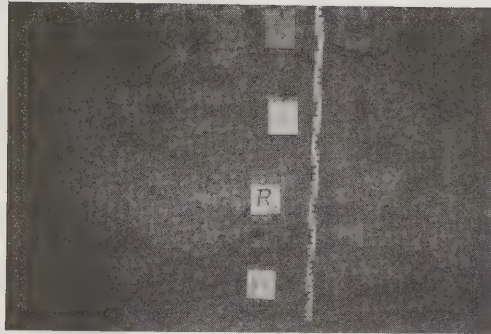


Abb. 35 Der mit dem Dampfflug meliorierte Pseudogley.

Sehr deutlich sind die Lockerungsgänge zu erkennen.

Das nicht meliorierte Dreieck, das bei unseren Untersuchungen als Kontrolle diente, gehörte damals einem anderen Besitzer. Erst 1951 erwarb es der Betrieb Koch, um eine günstigere Form des Ackerschlages zu erreichen. Die Bewirtschaftung der nicht meliorierten Fläche bereitet jedoch große Schwierigkeiten, und auch durch die intensivierte Düngung konnte die Ertragsfähigkeit und die Bearbeitbarkeit des Bodens nicht oder kaum verbessert werden.

4.4.2 Die Witterung während des Untersuchungszeitraumes

In Abb. 36 sind die monatlichen Niederschläge der Jahre 1968 und 1969 den langjährigen Monatsmitteln gegenübergestellt. Das Jahr 1968 war durch überdurchschnittlich hohe August- und Septemberriederschläge gekennzeichnet. Seine Niederschlagssumme (684 mm) lag sowohl über derjenigen von 1969 (532,6 mm) als auch über dem langjährigen Durchschnitt (585 mm). Auch 1969 war der Monat August am niederschlagsreichsten. Mit 110 mm Niederschlag brachte er fast das Doppelte des langjährigen Mittels.

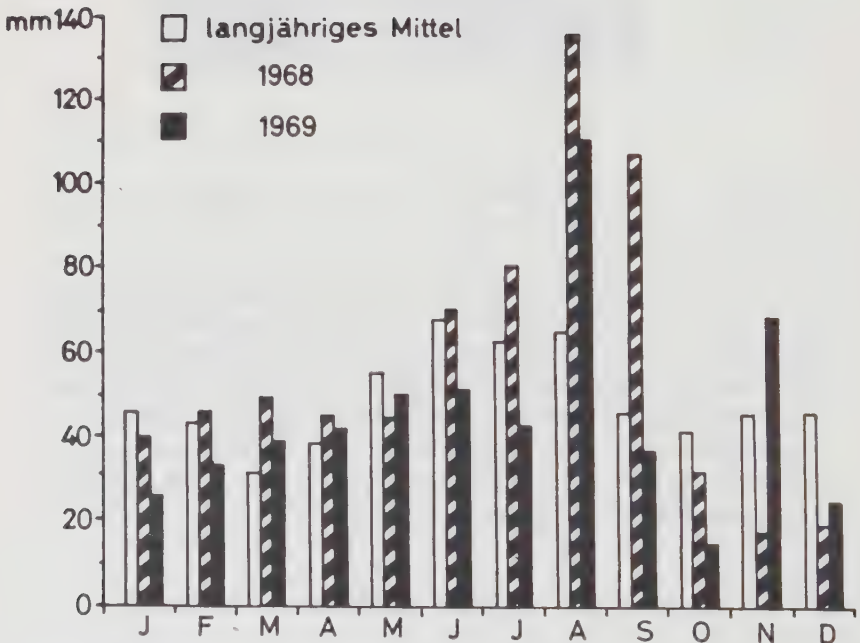


Abb. 36. Monatssumme der Niederschläge in Udenborn

4.4.3 Wirkung des Tiefumruchs auf die Bodeneigenschaften

4.4.3.1 Chemische Daten

Die Tabellen 14 und 15 zeigen die wichtigsten chemischen Daten des Pseudogleys und des meliorierten Pseudogleys von Udenborn. Die pH-Werte liegen im Unterboden der Kontrolle im stark sauren Bereich und im A_p - sowie S_w -Horizont im schwach sauren Bereich. Der kräftige pH-Anstieg im Oberboden ist sicherlich auf Krumenkalkung zurückzuführen.

Ein ganz anderes Bild zeigt die Bodenreaktion im meliorierten Boden. Hier ist das pH sowohl des A_p - als auch des gesamten R-Horizontes schwach alkalisch, jedoch im $IB_t S_d$ -Horizont sehr stark sauer. Die hohen pH-Werte im oberen Profilabschnitt stehen mit dem Carbonatgehalt in Einklang, der wiederum durch die bereits erwähnte Einarbeitung von Scheideschlamm zu erklären ist.

Die Ackerkrume der beiden Böden ist sehr gut mit pflanzenverfügbaren Nährstoffen versorgt. Im Unterboden zeigt das leichter bewegliche Kali ebenfalls keine wesentlichen Unterschiede. Dagegen ist der P_2O_5 -Gehalt in den unteren Profilabschnitten beider Böden unterschiedlich. Während in der Kontrolle die Versorgung der unteren Horizonte mit pflanzenverfügbarem Phosphor sehr schlecht ist, sind die entsprechenden Gehalte des R-Horizontes beachtlich hoch. In erster Linie dürfte dies dadurch bedingt sein, daß in diesem Bereich beim Tiefpflügen Krumenmaterial eingearbeitet wurde. Darauf deutet auch der höhere Humusgehalt dieses Horizontes hin. Außerdem enthielt auch der Scheideschlamm Nährstoffe. Besonders wichtig ist jedoch die günstige Bodenreaktion für die Verfügbarkeit der Phosphorsäure.

Tab. 14 Korngrößenverteilung (Äquivalent ϕ in μ) in %
des Feinbodens

Horizont und Tiefe	Ton < 2	Fein- schluff 2-6	Mittel- schluff 6-20	Grob- schluff 20-63	Fein- sand 63-200	Grob- sand 200-2000
<u>Pseudogley</u>						
A _p 0-30	11,03	10,33	21,36	47,90	4,48	4,91
S _w 30-40	17,24	9,02	18,54	47,96	2,97	4,27
IIB _t S _{d1} 40-60	34,60	6,37	14,20	39,29	2,62	2,92
IIB _t S _{d2} 60 +	43,12	7,02	9,86	33,16	4,01	2,81
<u>Meliorierter Pseudogley</u>						
A _p 0-30	15,14	7,26	19,40	49,12	4,27	4,81
R ₁ 30-45	16,71	7,80	19,57	47,99	3,81	4,12
R ₂ 45-70	18,02	7,75	18,80	48,83	3,04	3,56
IIB _t S _d 70 +	39,95	4,65	15,33	31,08	3,35	5,64

Tab. 15 Chemische Daten

Horizont	pH (KCl)	CaCO ₃ %	K ₂ O mg/100 g Boden	P ₂ O ₅ mg/100 g Boden	Humus %
<u>Pseudogley</u>					
A _p	6,1	-	37,0	30,2	2,42
S _w	6,0	-	12,8	1,0	0,29
IIB _t S _{d1}	4,8	-	11,1	0,4	0,27
IIB _t S _{d2}	3,5	-	11,5	0,3	0,11
<u>Meliorierter Pseudogley</u>					
A _p	7,1	0,74	36,3	36,0	1,57
R ₁	7,4	0,82	13,9	15,4	1,02
R ₂	7,3	0,25	7,2	5,9	0,65
IIB _t S _d	3,6	-	4,7	2,1	0,23

4.4.3.2 Porosität

Für die Untersuchung der Porengrößenverteilung wurden am 8. April 1968 und am 10. April 1969 Stechzylinderproben entnommen. Die untersuchten Profilpaare (Kontrolle und melioriert) lagen jeweils nur 15 bis 10 m auseinander. Die Ergebnisse geben die Abbildungen 37 und 38 wieder.

Beim Vergleich des meliorierten Bodens mit der Kontrolle zeigt das Gesamtporenvolumen relativ geringe, der Anteil der einzelnen Porenbereiche jedoch wesentliche Unterschiede. Besonders hervorzuheben ist der höhere Anteil an Grobporen ($> 10 \mu$) im meliorierten Profil, der ohne Ausnahme höher liegt, wenn zusammengehörende Profile verglichen werden. Dagegen weichen die drei Profilpaare jeweils etwas voneinander ab, was z.T. auf gewisse Bodenunterschiede, z.T. aber auf äußere Einflüsse (Bearbeitungs- und Kulturzustand in zwei verschiedenen Jahren) zurückzuführen ist.

Der Grobporenanteil ist vor allem im R_2 -Horizont mit 8,3 und 7,3 bzw. 6,8 (im R_3 -Horizont sogar 9,4) Vol.% gegenüber 4,7 und 4,7 bzw. 2,5 Vol.% in entsprechender Tiefe der Kontrolle beachtlich. Im R_1 -Horizont liegen die vergleichbaren Werte bei 6,6 und 7,9 bzw. 10,2 Vol.%. Eine Krumenbasisverdichtung, die nach einer Tiefenbearbeitung häufiger aufzutreten pflegt, ist in Udenborn nicht nachzuweisen, was auf eine bodenschonende Bewirtschaftungsweise hinweisen dürfte. Auch der A_p -Horizont zeigt beim meliorierten Boden trotz geringeren Gehaltes an organischer Substanz günstigere Gefügeeigenschaften, nämlich einen höheren Grobporenanteil als die Kontrolle. Dieses Ergebnis steht mit der bei zahlreichen Geländebeobachtungen festgestellten geringeren verschlämmungsneigung in Einklang (Abb. 39). Das vorteilhafte Gefüge der Ackerkrume dürfte außer durch die direkten, auch durch die indirekten Wirkungen der Bodenmelioration bedingt sein, und zwar durch die jahrzehntelange intensivere Bodenbewirtschaftung und die günstigeren bodenbiologischen Bedingungen.

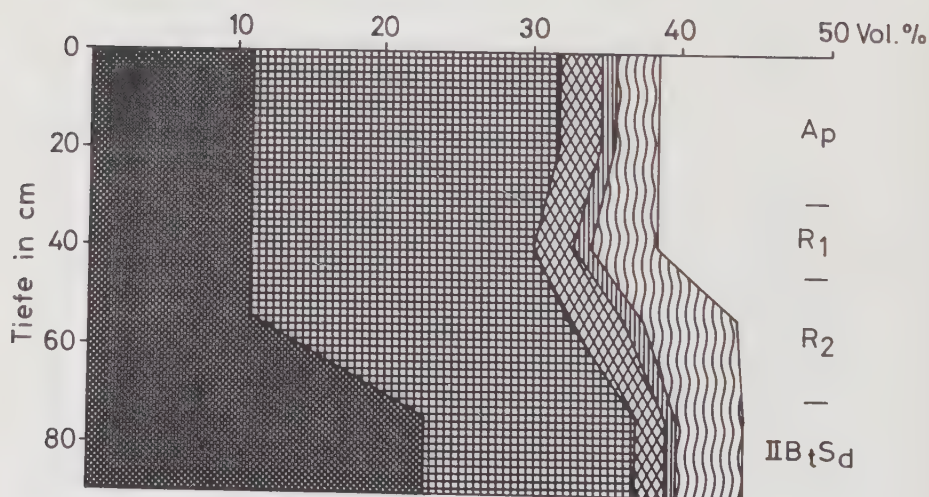
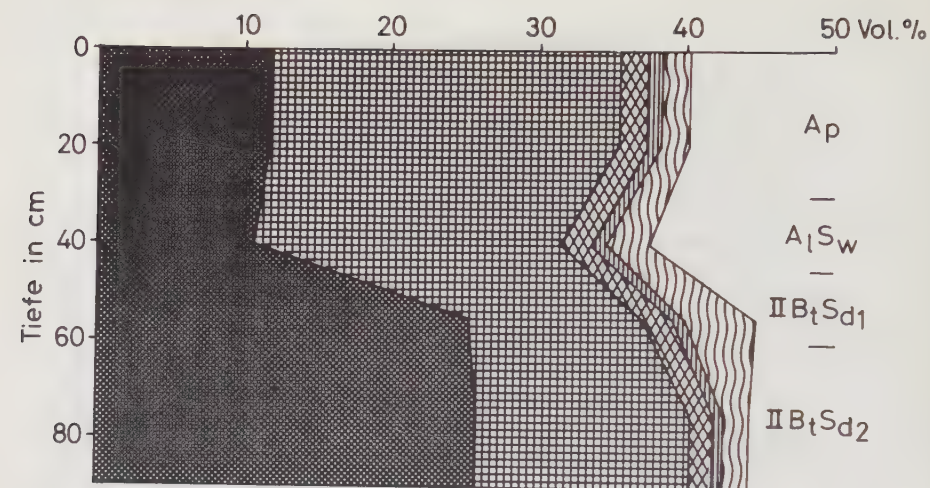


Abb.37. Porengrößenverteilung eines Pseudogleys (oben) und eines durch Dampfplung bearbeiteten Pseudogleys (unten) in Udenborn; Flur: Hintere Platte 1968 (Profile: Ub/68/1+2)

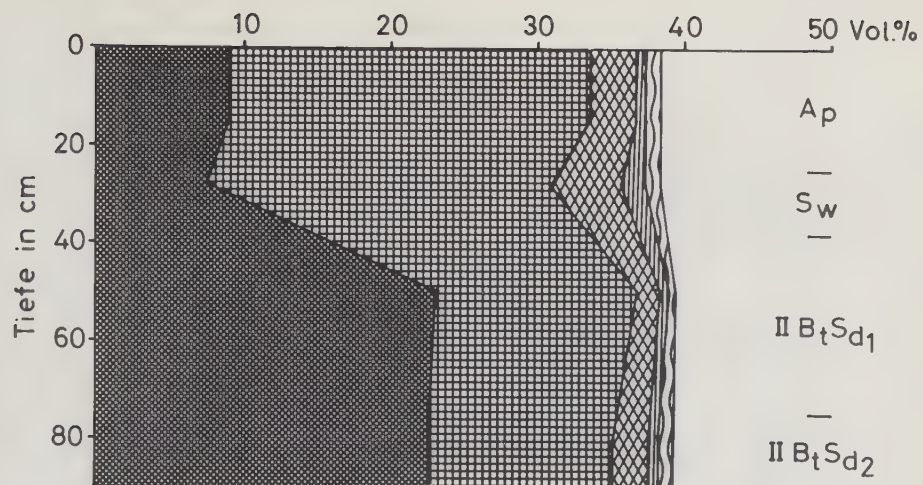


Abb.38. Porengrößenverteilung eines Pseudogleys (oben) und eines durch Dampfplug bearbeiteten Pseudogleys (unten) in Udenborn, Flur: Hintere Platte (1969)



Abb. 39 Durch die hellere Farbe und Verschläm-
mung setzt sich die Kontrolle (rechts)
deutlich von der meliorierten Fläche
(links) ab.

vergleicht man die aus den zwei verschiedenen Jahren stammenden Untersuchungsergebnisse, so fällt auf, daß der A_p -Horizont im Frühjahr 1969 unter winterweizen etwas dichter lagerte als 1968 ("frostgare" Winterfurche), während der Bereich unterhalb der Krume (R_1 - und S_w -Horizont) 1969 lockerer war. Diese Erscheinung dürfte mit der lockernden Wirkung der kräftigen wurzelbildung der Zuckerrüben in der vergangenen vegetationsperiode zusammenhängen.

Der erhöhte Anteil an Grobporen macht sich auch bei den Luftdurchlässigkeitsmessungen, die nach $\Delta MOCH$ an Stechzylinderproben durchgeführt wurden, bemerkbar (Tab. 16), wobei sich wiederum besonders der A -Horizont durch eine höhere Luftdurchlässigkeit gegenüber dem $B_t S_d$ -Horizont auszeichnet.

Tab. 16 Luftdurchlässigkeit. Bestimmung nach KMOCH an Stechzylinderproben am 10. 4. 1969

Horizont	Tiefe cm	wassergeh. Vol. %	Aquiv. Saugsp. pF	Luft Vol. %	Luftdurch- lässigkeit- beiwert (K_{00})
<u>Pseudogley</u>					
A _p	20	32,42	2,6	5,99	6,53
S _w	30	29,91	2,6	8,41	5,31
B _t S _{d1}	50	36,63	2,6	2,77	0,97
B _t S _{d2}	80	35,02	2,6	4,10	0,82
<u>Meliorierter Pseudogley</u>					
A _p	20	32,55	2,5	5,19	4,73
R ₁	30	30,23	2,5	9,93	6,55
R ₂	50	33,83	2,3	5,19	5,24
	65	33,39	2,7	6,71	6,1
B _t S _d	80	36,32	2,6	3,17	0,88

4.4.3.3 Bodenfestigkeit

Die Ergebnisse der am 7. 10. 1970 durchgeführten Messung mit der holländischen Manometersonde (Abb. 40) zeigen in der Kontrolle einen wesentlich höheren Bodenwiderstand als im meliorierten Boden. Auf dem ungestörten Pseudogley konnte die Sonde lediglich bis 40 cm tief eingedrückt werden. Unterhalb dieser Tiefe war der Widerstand so groß, daß die Messung mit dem verwendeten Druckkegel ($\emptyset$ 2,5 cm²) nicht mehr möglich war. Auf dem meliorierten Pseudogley konnte dagegen der Eindringwiderstand bis 70 cm (Grenze der Tiefenbearbeitung) gemessen werden.

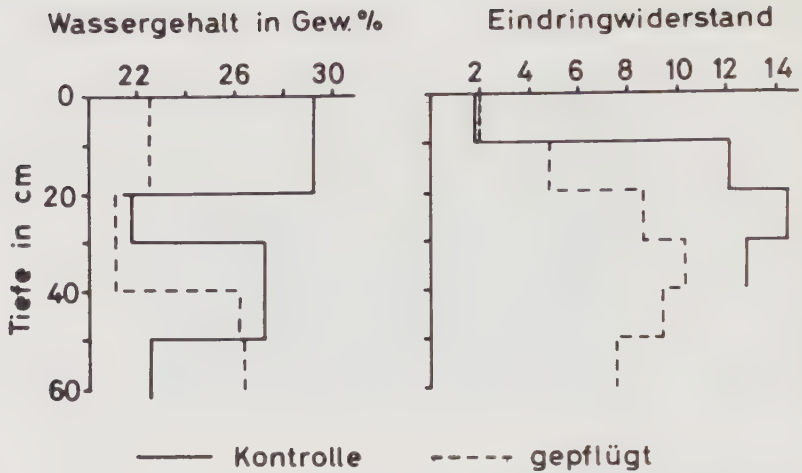


Abb.40. Eindringwiderstandsmessungen vom 7.10.1970 in Udenborn

Der Wassergehalt der beiden Böden, der das Meßergebnis nicht unwesentlich beeinflußt, war zwar zum Zeitpunkt der Messung nicht gleich, trotzdem kann das Ergebnis, wenn auch nicht quantitativ, so doch qualitativ als zutreffend betrachtet werden, denn im S_w - und noch mehr im $B_t S_{d1}$ -Horizont der Kontrolle wurden trotz höherer Wassergehalte höhere Widerstandswerte gefunden als im R_1 - bzw. R_2 -Horizont des meliorierten Bodens.

4.4.3.4 Bodenfeuchtegang

Die erste Feuchtebestimmung erfolgte am 8. 4. 1968 vor der Bestellung der Zuckerrüben (Tab. 17). Zu diesem Termin hatte der meliorierte Boden, vor allem im A_p -Horizont, einen niedrigeren Wassergehalt und dementsprechend ein höheres Luftvolumen. Dieses Ergebnis zeigt eine schnellere Abtrocknung an und bestätigt die Geländebeobachtung, wonach die Bestellung auf diesem Teil des Schläges früher möglich gewesen wäre.

Tab. 17 Wasser- und Luftgehalt (Vol.%) am 8. 4. 1968

	Pseudogley			meliorierter Pseudogley	
	Wasser	Luft		Wasser	Luft
A_p	35,5	4,5	A_p	32,5	5,8
S_w	31,8	5,5	R_1	31,2	7,1
$B_t S_{d1}$	37,8	6,9	R_2	34,5	9,6
$B_t S_{d2}$	39,9	4,4	$B_t S_d$	37,3	7,0

Die in der Tabelle 18 aufgeführten weiteren Ergebnisse der Feuchtebestimmung zu verschiedenen Terminen im Jahr 1968 lassen den niederschlagsreichen Witterungsverlauf dieser Vegetationsperiode erkennen. Die niedrigsten Wassergehalte wurden im August gemessen. Sie lagen bei 25 Vol.%. Wassermangel trat also in diesem Jahr nicht ein. Dafür war die Durchlüftung der Ertragsbegrenzenden Faktor. Im Unterboden der Kontrolle betrug das Luftvolumen häufig weniger als 5 Vol.%. Im meliorierten Boden war dagegen der Anteil luftführender Poren meistens größer.

Im relativ niederschlagsarmen Jahr 1969 ergaben die Feuchtemessungen besonders aufschlußreiche Ergebnisse (Abb. 41), wobei die Wasservorräte des Bodens durch den Winterweizen entsprechend der Durchwurzelbarkeit des Bodens in Anspruch genommen wurden.

Tab. 18 Bodenfeuchtegang (Vol.%) unter Zuckerrüben
im Jahre 1968

Pseudogley

	1.8.	20.8.	11.9.	15.10.	29.10.
0 - 10	24,2	29,6	42,0	39,9	41,4
10 - 20	29,0	29,6	41,1	39,1	40,3
20 - 30	28,4	28,9	38,6	37,3	38,6
30 - 40	28,1	27,3	36,4	35,5	38,4
40 - 50	36,3	32,4	39,6	40,2	39,1
50 - 60	42,7	37,6	43,2	37,7	41,9
60 - 70	37,6	40,1	43,5	35,6	38,9
70 - 80	36,7	35,9	43,3	36,7	41,6

meliorierter Pseudogley

0 - 10	23,3	29,6	37,1	37,1	37,7
10 - 20	25,1	31,0	37,1	34,6	36,2
20 - 30	24,6	27,8	32,5	34,0	34,8
30 - 40	24,0	26,0	31,1	30,8	33,7
40 - 50	25,5	27,3	35,0	31,7	34,9
50 - 60	25,6	27,4	37,9	37,1	38,3
60 - 70	35,0	29,5	39,9	39,6	39,7
70 - 80	39,5	37,9	40,9	39,5	40,8

Wie im Vorjahr erfolgte auch im Frühjahr 1969 auf dem meliorierten Boden eine schnellere Abtrocknung als auf der Kontrolle. Hier betrugen am 28. 3. 1969 die Wassergehalte in der Ackerkrume 40 - 45 Vol.%, während die entsprechenden Werte im dampfgepflügten Boden bei 38 Vol.% lagen. Zum selben Zeitpunkt herrschten in einer Tiefe von 50 - 70 cm umgekehrte Verhältnisse: die Kontrolle enthielt 36 - 37 und der meliorierte Boden 41 - 43 Vol.% Wasser. Das deutet darauf hin, daß im Pseudogley das Niederschlagswasser oberflächen- nah gestaut wird, während das durch die Dampfplügbearbei-

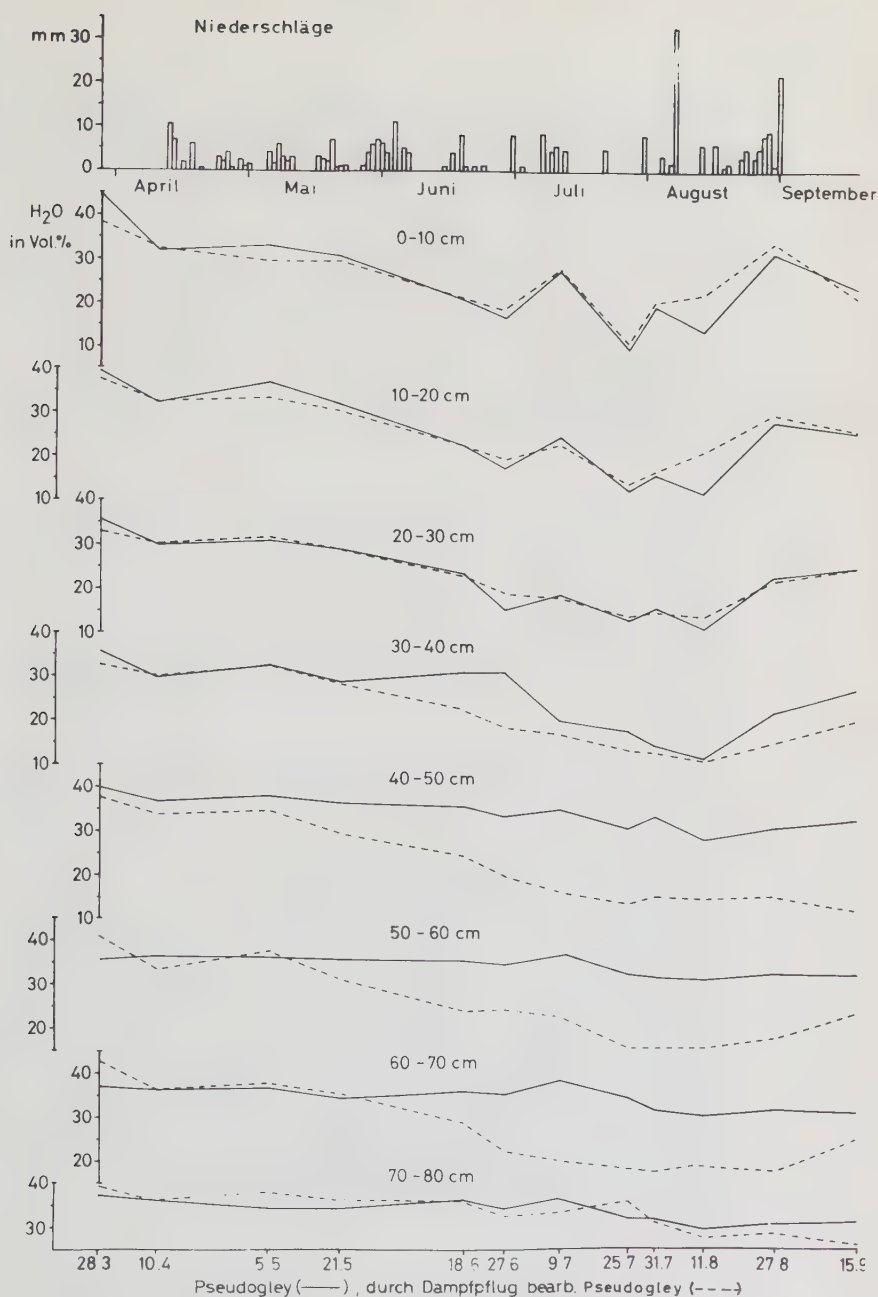


Abb. 41. Bodenfeuchte in Vol.%, während der Vegetationsperiode 1969 (Winterweizen)

tung aufgelockerte Gefüge (s. Kapitel 4.5.3.2) eine höhere Durchlässigkeit hat. Hier staut sich das Wasser in größerer Tiefe, nämlich über dem nicht bearbeiteten Untergrund. Die frühere Abtrocknung und Erwärmung des Oberbodens begünstigte aber die Frühjahrsentwicklung des Weizens.

Etwa zwei Wochen später, am 10. 4., wiesen die Wassergehalte in den beiden Böden keine größeren Unterschiede auf. Am 5. 5. erfolgte jedoch die Probennahme nach einer niederschlagsreichen Periode, so daß wiederum eine gewisse Vernässung des Oberbodens (0-20 cm) des Pseudogleys und des Unterbodens (50 - 80 cm) der meliorierten Parzelle eintrat.

Mit dem Schossen des Weizens bei erhöhter Lufttemperatur setzte ein starker Wasserverbrauch ein. Die Wassergehaltsänderungen waren jedoch in den beiden Böden horizontweise unterschiedlich. Auf der Kontrolle beschränkte sich die Wasserentnahme jetzt ausschließlich auf den 30 - 40 cm mächtigen Profilbereich, in dem das gesamte pflanzenverfügbare Wasser entzogen wurde. In den darunterliegenden Horizonten war aber nur eine sehr geringe Abnahme des Wassergehaltes zu verzeichnen. Auf der meliorierten Parzelle dagegen nahm der Wassergehalt nicht nur im Oberboden, sondern auch im gesamten R-Horizont (bis 70 cm) stark ab.

Diese Unterschiede im Wassergehalt, die im wesentlichen bis zur Ernte bestehen bleiben, lassen sich durch die unterschiedliche Durchwurzelbarkeit erklären. Während der dichte S_d -Horizont kaum durchwurzelt wird und daher für die Wasserversorgung der Pflanzen bedeutungslos bleibt, kann das im R-Horizont pflanzenverfügbar gespeicherte Wasser durch die Wurzeln aufgenommen werden. Die durch die günstigere Porenverteilung verbesserte Durchlüftung und der geringere mechanische Widerstand des Bodens dürften die wichtigsten Gründe für die bessere Durchwurzelbarkeit dieses Horizontes sein, wenn auch die chemischen Eigenschaften (s. Kapitel 4.4.3.1) ebenfalls eine gewisse Rolle spielen werden.

4.4.3.5 Erträge

Die verbesserung der Struktur- und Feuchtigkeitsverhältnisse der mit dem Dampfpflug bearbeiteten Parzelle hat nicht nur die Bearbeitung dieses Bodens erleichtert, sondern auch die Ertragsfähigkeit positiv beeinflusst.

Nach Erfahrungen des Betriebsinhabers liegen die Erträge auf dem nicht meliorierten Teil des Schlages mindestens um 15 - 20 % niedriger als auf dem übrigen Schlag. In Jahren mit extremer Witterung sind die Unterschied noch größer.

Die von uns im trockenen Jahr 1969 durchgeführten Ertragsmessungen bei Winterweizen brachten folgende Ergebnisse: Der kornertrag betrug auf dem tiefgepflügten Teil 65,2 und auf der Kontrolle 47,6 dz/ha. Der Unterschied, der statistisch sehr gut gesichert ist (t 0,1 % 3,92, GD 0,1 % 8,5), macht 17,6 dz/ha oder 36,9 % aus.

Im niederschlagsreichen Jahr 1970 brachte die Sommergerste auf dem meliorierten Boden ähnlich hohe und statistisch ebenfalls sehr gut gesicherte Mehrerträge (Tab.19), wobei der Strohertrag mehr als doppelt so hoch lag als auf der Kontrolle, wo der Pflanzenbestand sehr lückig war.

Tab. 19 Erträge (in dz/ha TM) an Sommergerste
in Udenborn 1970

	Korn		Stroh		Gesamt	
	dz/ha	%	dz/ha	%	dz/ha	%
Kontrolle	27,7	100	22,4	100	50,1	100
mit Dampfpflug bearbeitet	39,0	140,9	49,0	218,4	88,0	175,6

4.4.3.6 Zusammenfassung

Auf einem meliorierten Pseudogley, der vor dem Ersten Weltkrieg mit Dampfpflug ca. 70 cm tief bearbeitet wurde, und einer Kontrollfläche wurden bodenkundliche Untersuchungen und Ertragsermittlungen durchgeführt. Die wichtigsten Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Durch die bis ca. 70 cm Tiefe reichende Bearbeitung wurde die Oberseite des Staukörpers um ca. 30 - 40 cm tiefer gelegt. Die Niederschläge werden daher schneller aufgenommen und für die Speicherung steht ein größerer Bodenraum zur Verfügung. Die früher in der Krume auftretende Staunässe wurde dadurch beseitigt. Aufgrund der neu entstandenen Porositätsverhältnisse trocknet der meliorierte Boden im Frühjahr schneller ab; er kann daher früher bearbeitet und bestellt werden.
2. Die Luftkapazität und die nutzbare Wurzelraumkapazität wurden vergrößert.
3. Der pH-Wert des Ober- und Unterbodens wurde erhöht und die Nährstoffversorgung des Unterbodens verbessert.
4. Aufgrund der günstigeren physikalischen und chemischen Eigenschaften erfolgte ein verstärktes Wurzelwachstum in den Unterbodenschichten. Dadurch konnten die Wasservorräte des Unterbodens besser ausgenutzt werden.
5. Die Ertragsfähigkeit des Bodens wurde wesentlich erhöht.

4.5. Tieflockerungsversuch Bleidenrod

4.5.1 Standortverhältnisse

Die Gemeinde Bleidenrod, Kreis Alsfeld, liegt im nördlichen Vorderen Vogelsber. Die Versuchsfläche befindet sich ca. 1,6 km nördlich Bleidenrod auf einem Plateau, etwa 335,5 m über NN.

Das Klima ist durch eine durchschnittliche Jahresniederschlagshöhe von 750 mm und ein langjähriges Jahresmittel der Lufttemperatur von 7°C gekennzeichnet.

Der Boden, der als Acker genutzt wird, ist ein Pseudogley aus Lösslehm über Basalt.

Ein typisches Profil wird im folgenden beschrieben:

A _p	0 - 20 cm	dunkelgrauer (10 YR 4/1 - 5/1), schwach humoser, schwach lehmiger Schluff, rostfleckig, Schluffnester, Bröckelgefüge; sehr gut durchwurzelt, Begrenzung sehr deutlich und gerade;
S _{we}	20 - 35 cm	hellgrauer (10 YR 7/1), lehmiger Schluff, rostfleckig, einzelne B _t -Reste, 0,2 - 2 cm Ø große harte Konkretionen, Plattengefüge, einige Regenwurmgänge, gut durchwurzelt, Begrenzung undeutlich;
B _t S _w	35 - 45 cm	dunkel-gelblichbrauner (7,5 YR 5/6 - 10 YR 5/6), schluffiger Lehm mit Polyedergefüge, in zahlreichen Klüften und Schluffnestern weißlichgrauer (7,5 YR 8/2 - 10 YR 7/1) lehmiger Schluff, einige Aggregatoberflächen mit Mn- und Fe-Überzügen belegt, viele stecknadelkopfgroße und einige größere weiche und brüchige Konkretionen: Übergangshorizont mit undeutlicher Begrenzung;

B_tS_{d1}	45 - 60 cm	gelblichbrauner (10 YR 5/8 - 5/6) schluffig-toniger Lehm, nadelstichporiges prismatisch-polyedrisches Gefüge, Horizontaufsicht zeigt ein Polygonnetz, dessen Spalten mit zentimeterdickem bläulich-grauem (5 Y 5/1) schluffigem Ton gefüllt und von Feinwurzeln durchzogen sind, einzelne Regenwurmgänge; Begrenzung undeutlich;
B_tS_{d2}	60 - 100 cm	dunkelbrauner (10 YR 4/4 - 5/4) schluffig-toniger Lehm, sehr dicht gelagert (Regenwasser zieht auch nach mehreren Tagen aus der Profilgrube nicht ab), plattig-polyedrisches Gefüge mit dicken bläulichgrauen (5 Y 5/1) schluffigen Tonbelägen, einzelne Kluftflächen mit schwachen Eisen- und Manganbelägen, in den mit Ton ausgefüllten Spalten sind Feinwurzeln deutlich erkennbar, keine Regenwurmgänge und Konkretionen vorhanden;
IIC_v	100 cm +	dunkelgrauer Basaltzersatz.

Aus den in der Abb. 42 wiedergegebenen Untersuchungsergebnissen geht hervor, daß die Bodenreaktion in der Ackerkrume sauer und im Unterboden sehr stark sauer ist.

Von ganz besonderem Interesse ist aber die Porosität. Das GPV ist in den obersten Horizonten als hoch anzusprechen. Es beträgt im B_tS_{d1} -Horizont noch 44,3 %, fällt aber im B_tS_{d2} -Horizont auf 41,7 ab. Von dieser Abnahme ist vor allem der Grobporenanteil betroffen. Dieser beträgt im S_{we} 12,5 %, im B_tS_{d1} 7,1 % und im B_tS_{d2} nur 3,4 %. Diese starke Abnahme der groben Poren hat einen starken negativen Einfluß auf die Durchlässigkeit, die Durchwurzelbarkeit und die dräntechnischen

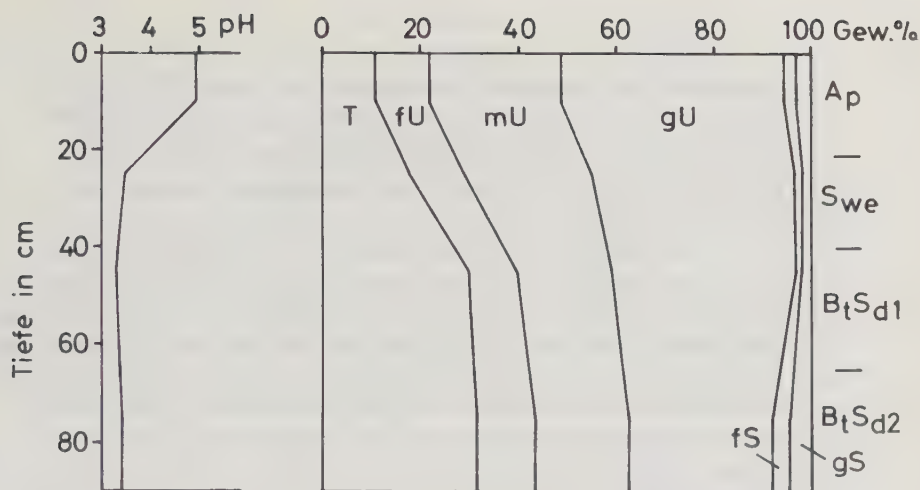


Abb. 42: Versuch Bleidenrod : Bodenreaktion (links) und Korngrößenverteilung (rechts) vor der Melioration

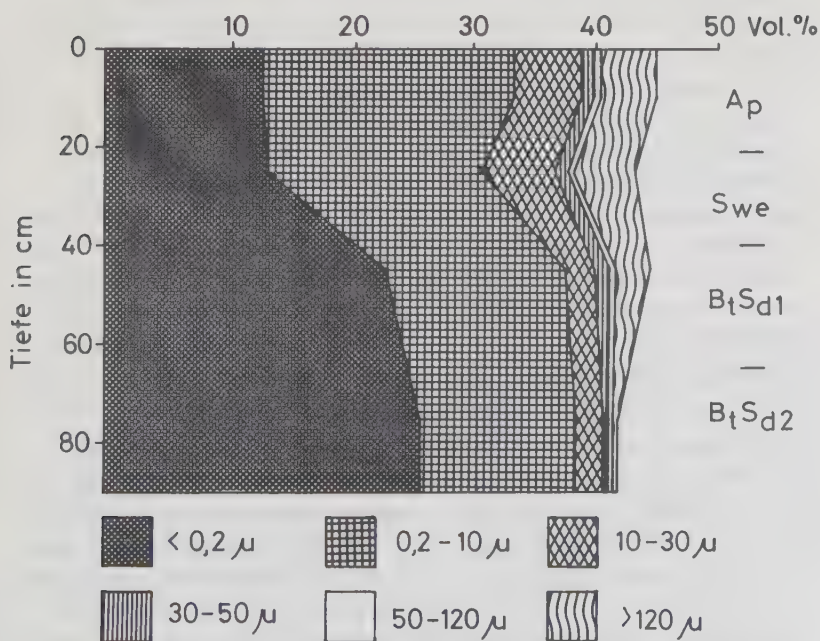


Abb. 43. Versuch Bleidenrod : Porengrößenverteilung vor der Melioration

Eigenschaften des Bodens. Der Anteil der feinen Poren nimmt im Profil von oben nach unten - durch den Tongehalt bedingt - zu, während die mittleren Poren abnehmen.

Der dichte Unterboden führte zur Vernässung, die man durch wiederholte Dränmaßnahmen zu beseitigen versuchte. Die zuletzt 1955 durchgeführte Volldränung (12 m Dränabstand, 110 cm Dräntiefe) ermöglicht zwar die Abführung eines Teils des überschüssigen Wassers und erleichtert die Bewirtschaftung der Fläche, aber die erzielbaren Erträge befriedigen angesichts der hohen Dränkosten nicht. Dies liegt an der ungenügenden Durchwurzelbarkeit des sehr dichten Unterbodens. Eine rasche und tiefgreifende Bodenverbesserung war daher von der Tiefenbearbeitung zu erwarten.

4.5.2 Versuchsanlage

Der Lockerungsversuch wurde am 2. 12. 1969 im Rahmen eines gemeinsamen Forschungsvorhabens des Instituts für Bodenkunde und Bodenerhaltung und des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung angelegt. Die Versuchsanlage umfaßt gelockerte und nicht gelockerte Parzellen mit verschiedener Kalk- und Stickstoffdüngung. Die Lockerung wurde mit dem Tiefmeißel "Würger 4/95" der Firma Rabewerk 70 cm tief durchgeführt. Der Lockerungsabstand betrug 150 cm; der aufgelockerte Bodenbereich in 40 cm Tiefe war jedoch höchstens 80 cm breit. Ein Streifen von ca. 70 cm Breite blieb also jeweils ungelockert. Einem engeren Lockerungsabstand stand die Befürchtung im Wege, daß die Lockerungsgänge beim Befahren mit den Zugmaschinen (zwei schwere Schlepper) wieder verdichtet werden könnten.

Der Feuchtigkeitsgehalt des Bodens war zum Zeitpunkt der Lockerung sehr hoch. Drei Wochen zuvor betrug er bereits 34 - 39 Vol.%, und die Äquivalentsaugspannung lag zwischen $pF = 2,6$ und $1,8$. Der z.B. von GORA (1967) angegebene Grenzwert des Wassergehaltes (< 70 % der Feldkapazität), bei dem ein guter Lockerungseffekt zu erwarten ist, war hier überschritten. Trotzdem war der Lockerungseffekt nach der visuellen Beurteilung befriedigend.

4.5.3 Veränderung der physikalischen Eigenschaften durch die Lockerung

Vier Monate nach der Lockerung erfolgten auf der Varianten ohne Kalk die ersten bodenphysikalischen Untersuchungen. Zu diesem Zeitpunkt war die trichterförmige Lockerungsfurche in der Schürfgrube sehr gut zu erkennen.

4.5.3.1 Porosität

Wie aus Abb. 44 zu ersehen ist, wurde das Porenvolumen im gelockerten Bereich um 7 - 8 Vol.% vergrößert. Gleichzeitig verdoppelte sich der Anteil an groben Poren, worin die positive Wirkung der Lockerung am besten zum Ausdruck kommt. Die feinen Poren sind um etwa 3 Vol.% zurückgegangen, während der Anteil der mittleren Poren um 4 Vol.% zunahm, so daß die nutzbare Wasserkapazität des Unterbodens nicht unwesentlich vergrößert wurde.

Im Zwischenraum der Lockerungsgänge sind die Porositätsverhältnisse im wesentlichen unverändert geblieben. Eine volle Wirkung ist also nur bei einem engeren Lockerungsabstand zu erwarten.

4.5.3.2 Bodenwiderstand

Gleichzeitig mit der Entnahme der Bodenproben für die Porositätsuntersuchungen wurde die Bodenfestigkeit auf der gelockerten und nicht gelockerten Parzelle gemessen. Wie aus Abb. 45 hervorgeht, war die Wirkung der Lockerung sowohl auf den Eindring- als auch auf den Abscherwiderstand noch größer als auf die Porenraumverhältnisse.

Der größte Widerstand war jeweils in der Kontrolle, während im Lockerungszentrum ca. fünfmal kleinere Werte gemessen wurden. Dies ist auf das vergrößerte Porenvolumen, den höheren Wassergehalt und den gestörten Bodenverband zurückzuführen.

Auch die seitliche Wirkung der Lockerung wurde erfaßt und in Abb. 45 dargestellt. Dabei zeigte sich, daß die Lockerungswirkung unterhalb 40 - 50 cm bereits 20 cm von der Mitte des

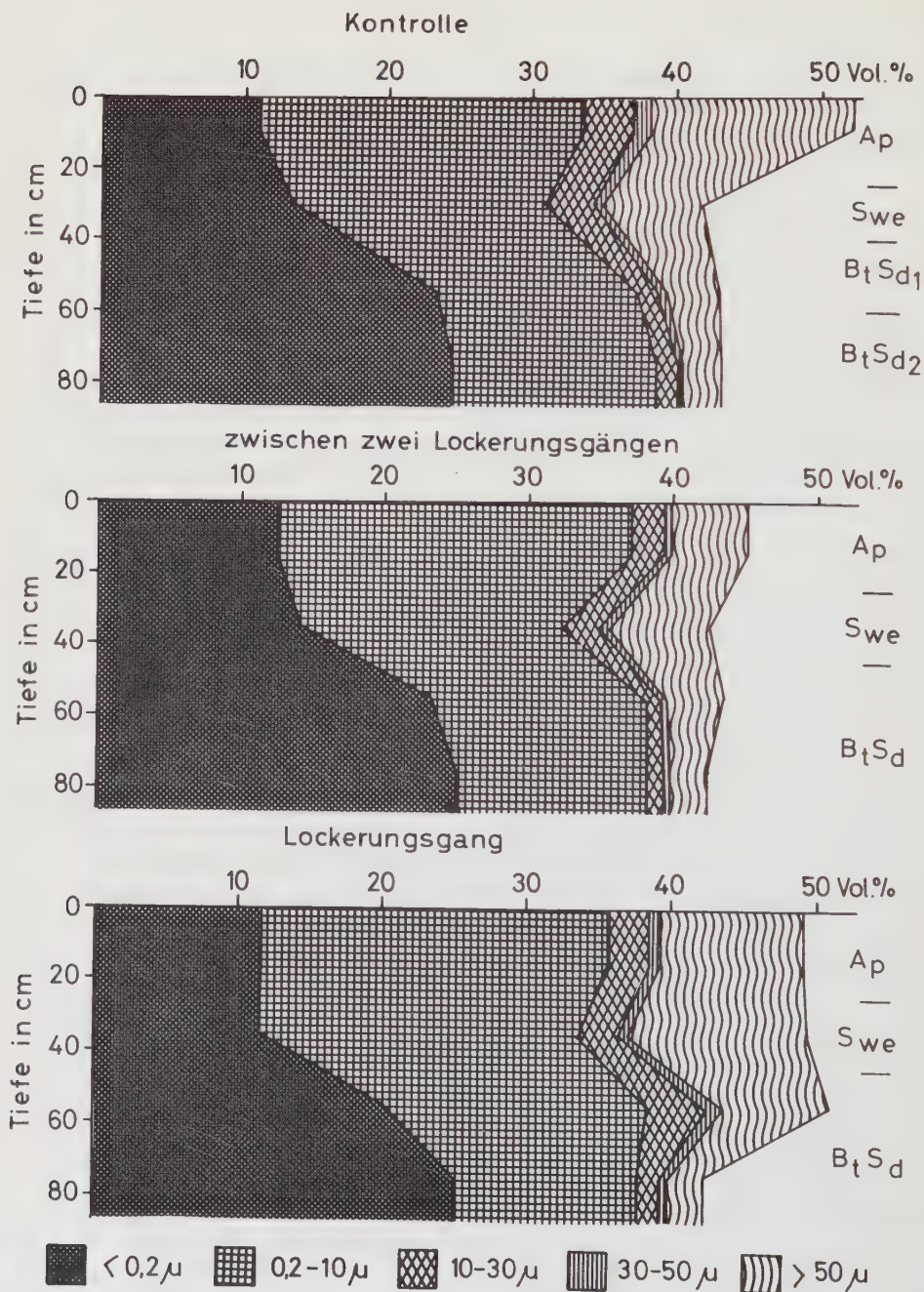


Abb.44. Porengrößenverteilung eines Pseudogleys aus Lößlehm über Basalt von Bleidenrod bei unterschiedlicher Bearbeitung 4 Monate nach der Lockerung

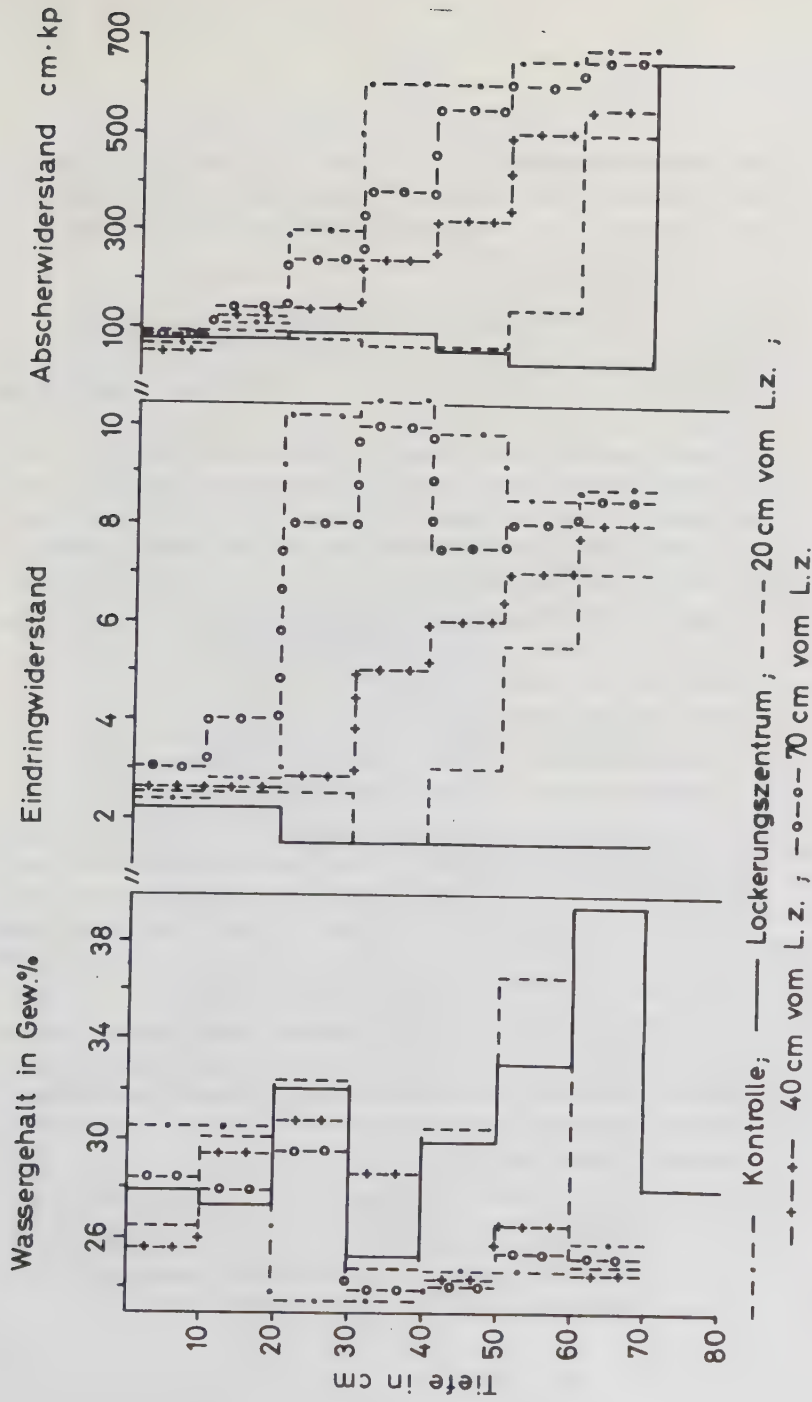


Abb. 45. Eindring- und Abscherwiderstandsmessung am 15.4.70 (Bleidenrod)

des Lockerungsganges entriert aufhört, 40 cm entriert im gesamten Profil stark nachläßt und 70 cm vom Lockerungszentrum praktisch kein Lockerungseffekt mehr festzustellen ist.

4.5.3.3 Bodenfeuchtigkeit

Wie am 15. 4. 1970 durchgeführte Bodenfeuchtebestimmung (Abb.45) zeigt, daß der gelockerte Boden wegen des vergrößerten Porenraums in den Wintermonaten eine höhere Wassermenge aufspeichert. Da jedoch unterhalb 70 cm der Unterboden sehr dicht ist, wird das Wasser z.T. auch in den groben Poren des Lockerungsbereiches gestaut. Das Luftvolumen war daher zu diesem Zeitpunkt im S_{td} -Horizont kaum höher als in der Kontrolle. Erst im S_{we} -Horizont zeichnete sich der meliorierte Boden mit 10,9 % Luftvolumen gegenüber 6,5 % in der Kontrolle aus. Im Raum zwischen den Lockerungsgängen zeigt die Bodenfeuchte ähnliche Verhältnisse wie in der Kontrolle.

4.5.4. Zusammenfassung

Die bodenphysikalischen Untersuchungen 4 Monate nach der Melioration hatten folgende Ergebnisse:

Die Lockerung hat das Gesamtporenvolumen zu Gunsten der groben und mittleren Poren vergrößert und den Bodenwiderstand herabgesetzt. Bei dem Lockerungsabstand von 150 cm wird allerdings nicht der gesamte Unterboden gelockert. Der keilförmige Lockerungsbereich ist in 40 cm Tiefe nur 80 cm breit, so daß ein 10 cm breiter Streifen ungelockert bleibt.

Mit der Vergrößerung des Gesamtporenvolumens und der Zunahme der groben Poren ist auch die Wasseraufnahmefähigkeit des Lockerungsraumes stark erhöht worden, so daß in den Wintermonaten Wasser auf der Lockerungssohle gestaut wird, was durch folgende Ursachen bedingt ist:

1. Es wurde keine durchlässige Schicht angeschnitten.
2. Die Tiefen- und Breitenwirkung der Lockerung reichte nicht aus, um die gesamte Niederschlagsmenge im kapillaren Porenraum zu speichern, zumal

3. die Niederschläge relativ hoch sind.

4.6 Tiefpflugsanlage Heppenheim

4.6.1 Standortverhältnisse und Versuchsdurchführung

Der Standort Heppenheim, Kreis Bergstraße, liegt im hessischen Nied, ca. 95 m über NN. Die durchschnittlichen Jahresniederschläge betragen 700 mm bei einer mittleren Jahrestemperatur von 9,0 - 9,5°C.

Die Untersuchungsfläche befindet sich in den "Bickenbacher Wiesen", ca. 3,5 km südwestlich von Heppenheim (Top. Karte 1 : 25 000, Bl. 6317 Bensheim, Planquadrat 3471/5497). Sie liegt im Bereich der ehemaligen Überflutungszone des Neckars, der im Holozän entlang des westlichen Odenwaldrands seinen Weg nach Norden nahm und bei Trebur nordwestlich von Groß-Gerau in den Rhein mündete.

Typologisch betrachtet stellt der Boden des Untersuchungsstandortes Heppenheim einen Gley-Pseudogley aus Hochflutlehm des Neckars über carbonathaltigem Sand dar (Aob. 46).

Profilbeschreibung

A _p	0 - 20 cm	dunkelgrauer (10 YR 2/2 - 3/1) toniger Lehm, sehr stark humos, schwach fleckig, gut durchwurzelt, polyedrisch-krümeliges Gefüge, deutliche gerade Begrenzung zum
S _d	20 - 55 cm	fahlgrauer (7,5 YR 6/0) toniger Lehm, stark marmoriert, schwach durchwurzelt, deutliche zungenförmige Begrenzung zum
G _{oc}	55 - 88 cm	weißgrauer (10 YR 8/2) toniger Lehm mit starker Carbonatanreicherung (sog. Rheinweiß) plattig-bröckeliges Gefüge, schwach von Feinwurzeln durchzogen, deutliche, wellige Begrenzung zum

- IIg_o 88 - 120 cm rotbrauner (7,5 YR 5/8) schwach lehmiger Sand, Einzelkorngefüge, marmoriert, in ehemaligen Wurzelleitbahnen röhrenartige Eisenkonkretionen, vereinzelt auch graugrüne (5 YR 4/4) Reduktionsreste, deutliche gerade Begrenzung zum
- IIg_r 120 cm + fahlgrauer bis hellgraubrauner (2,5 Y 6/2) Sand, Einzelkorngefüge, Grundwasserspiegel bei 124 cm u. Fl. (24. 3. 1969).

A_p 0 - 20

S_d 20 - 55

G_{oc} 55 - 88

IIg_o 88 - 120

IIg_r 120 +



Abb. 46 Gley-Pseudogley in Heppenheim

Der bis vor zwei Jahren als Grünland genutzte Boden hat im A_p-Horizont einen sehr hohen Gehalt an organischer Substanz (Tab. 20). Dieser hohe Wert ist einerseits auf die große

Masse der mitbestimmten Nichthuminstoffe (Wurzelreste usw.), andererseits auf die gehemmten Abbauprozesse infolge Stau-
nässe zurückzuführen.

Tab. 20 Einige Kennwerte des Gley-Pseudogleys in Heppenheim
unter Acker (früher wiese)

Hori- zont	Tiefe cm	pH in KCl	Carbo- nate %	Humus %	Korngrößenverteilung in % des Feinbodens (Äquiv. ϕ in μ)			
					Ton < 2	Schluff 2-63	S a n d 63-200	200
A _p	0-20	4,6	0,4	7,8	39	36	11	15
S _d	20-55	5,0	0,6	.	39	35	16	10
G _{oc}	55-88	7,4	52,0	.	35	48	8	9
IIG _O	88-120	6,3	3,9	.	7	3	81	8
IIG _r	120 +	8,4	11,0	.	2	11	57	31

Charakteristisch für den Boden von Heppenheim ist die starke Abnahme des Tongehalts von ca. 40 % im Oberboden auf 2 - 7 % im Unterboden und die entsprechende Zunahme des Sandgehaltes (Tab. 20).

In diesem Profil fällt besonders der weißgraue Carbonatanreicherungshorizont mit einem Carbonatgehalt von 52 % an der Grenze der Hochflutlehmdecke zum liegenden Sand auf. Die Entstehung dieser als "Rheinweiß" bezeichneten kalkabscheidungen konnte bis jetzt noch nicht restlos geklärt werden (BECKER 1965). Nach der von SCHÖNHALS (1954) vertretenen Auffassung handelt es sich hierbei um kalkabsätze aus kalkreichem Grundwasser, aus dem der Kalk bei Entweichen der Gleichgewichtskohlensäure ausgeschieden wurde.

Die Bodenreaktion ist im A_p-Horizont und im S_d-Horizont stark bis mäßig sauer und in den G-Horizonten schwach sauer bis mäßig alkalisch.

Die Texturunterschiede zwischen dem ca. 90 cm starken Hoch-
rüttellehm und dem darunter gelegenen schwach lehmigen Sand
kommen auch in den bodenphysikalischen Eigenschaften der
einzelnen Profilhorizonte zum Ausdruck (Abb. 47).

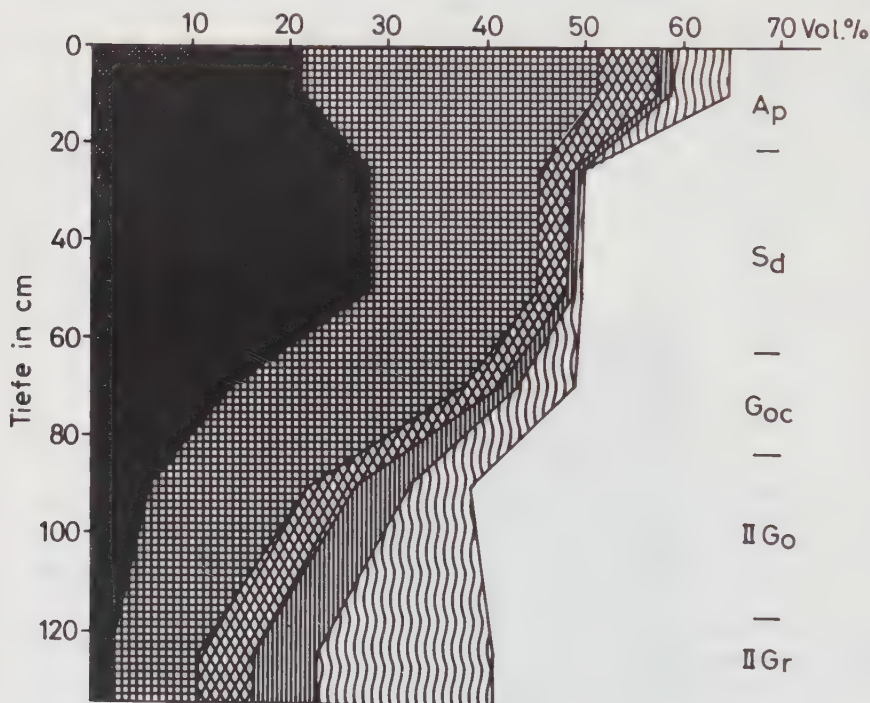


Abb. 47 Porengrößenverteilung des Gley-Pseudogleys
in Heppenheim

Die günstigen physikalischen Eigenschaften des A_p -Horizontes
spiegeln sich in dem hohen Anteil grober und mittlerer Poren
wieder, was auf die Nutzung als Grünland zurückzuführen ist.
Demgegenüber erfahren diese Porenbereiche im Bereich des
 S_d -Horizontes eine starke Einengung. Der größte Teil des
50 Vol.% betragenden Porenvolumens wird von den feinen Poren

eingenommen. Für die Speicherung von pflanzenverfügbarem Wasser und eine ausreichende Luftzirkulation ist nur wenig Porenraum vorhanden, so daß in niederschlagsreichen Perioden Staunässe auftritt, in niederschlagsarmen Zeiten aber Trockenschäden die Folge sind.

Die für den S_a -Horizont an 250 cm^3 -Stechzylinderproben gemessenen Durchlässigkeitswerte liegen zwischen $8,1 \times 10^{-5}$ und $4,5 \times 10^{-6}$ cm/sec, im Mittel bei $2,2 \times 10^{-5}$ cm/sec.

Kennzeichnend für den darunterliegenden Sand ist der hohe Anteil an groben Poren und der niedrige Anteil an mittleren und feinen Poren.

Nachdem verschiedenen Entwässerungsmaßnahmen ohne den gewünschten Erfolg blieben, ließ das Landeskulturamt Wiesbaden im Sommer 1967 eine 25 ha große, bisher als Grünland genutzte Fläche der Stadt Heppenheim 150 - 170 cm tief pflügen. (Abb. 48 - 51). Weitere 14,5 ha wurden im Sommer 1969 tiefgepflügt. (Die Arbeiten wurden von der Firma Davids, Medelby/Atzenhain durchgeführt.) Von dieser auf Mineralböden bisher ungewöhnlichen Meliorationsmaßnahme wurde folgende Komplexwirkung erwartet:

1. Durch Unterfahren mit einem Spezialpflug (Abb. 48) sollte der Staukörper (S_a -Horizont) aufgebrochen werden, um
 - a) den Luft- und Wasserhaushalt zu verbessern und
 - b) den durchwurzelbaren Raum des bisher physiologisch flachgründigen Bodens zu vertiefen.
2. Durch das Hochpflügen von Sand sollte die Bewirtschaftung erleichtert werden.
3. Durch das Zuführen von carbonathaltigem Untergrundmaterial in die neue Krume sollte eine optimale Bodenreaktion geschaffen werden.

Bei der erforderlichen Arbeitstiefe von 150 - 170 cm war die Zugkraft von drei Raupen mit je 150 PS notwendig (Abb. 49).

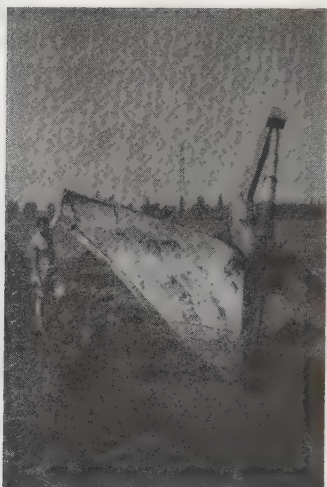


Abb. 48 Spezialpflug für Tiefen über 150 cm



Abb. 49 Drei Raupenschlepper von je 150 PS waren notwendig, um den Boden bis zu einer Tiefe von 150 - 170 cm zu pflügen.



Abb. 50 Blick auf die tiefgepflugte Versuchsiläche.
Die helle Bodenfarbe ist auf die grauen Horizonte (S_d , G_{oc} und IIG_R), die rotbraune auf den IIG_O -Horizont in ca. 90 - 120 cm Tiefe zurückzuführen.



Abb. 51 Tiefpflugprofil des Versuchsbodens senkrecht zur Pflugrichtung.
Der dunkelgraue A_n -Horizont ist vollständig untergepflügt worden. Bearbeitungsgrenze der späteren normalen Bodenbearbeitung ist dreieinhalb Jahre nach dem Tiefumbruch ziemlich deutlich ausgeprägt.

nach dem Tiefumbruch wurde die Fläche eingeebnet und in die neue Ackerkrume eine einmalige Düngergabe von

8,92 dz/ha Thomasphosphat
8,00 dz/ha Kali-Magnesia
2,48 dz/ha Kalkammonsalpeter 25 %
4,04 dz/ha Superphosphat 18,25 %

eingearbeitet.

Nach dem Tiefumbruch besteht die neue Ackerkrume aus einer Mischung der verschiedenen Horizonte des ursprünglichen Bodens (überwiegend aber Sand). Bearbeitungsgrenzen der späteren normalen Bodenbearbeitung sind dreieinhalb Jahre danach ziemlich deutlich ausgeprägt (Abb. 51).

Im Unterboden finden sich die ehemaligen Horizonte weniger vermischt in Form von schräg gekippten Balken wieder, wobei sich die Sandlagen von oben nach unten verbreitern, während die humosen und tonigen Partien nach unten schmaler werden (Abb. 51). Unterhalb ca. 100 cm ist praktisch nur noch Sand anzutreffen.

4.6.2 Wirkung des Tiefumbruchs auf die Bodeneigenschaften

4.6.2.1 Chemische Daten

Durch das Vergraben des humusreichen A_p -Horizontes ist der Gehalt an organischer Substanz der neuen Ackerkrume stark reduziert worden (Tab. 21). Andererseits wurde durch das Heraufpflügen des carbonatreichen Sandes in den oberen Dezimetern sowohl die Textur entsprechend verändert und damit die Bewirtschaftung erleichtert als auch der Carbonatgehalt und die Bodenreaktion entscheidend erhöht (Tab. 21). Der pH-Wert der neuen Ackerkrume liegt mit 7,1 - 7,4 im schwach alkalischen Bereich. Der Carbonatgehalt schwankt zwischen 2,0 und 12,4 %. Bei einem Mittleren Carbonatgehalt von 7,5 % wurden der Ackerkrume bis 20 cm Tiefe etwa 2060 dz/ CaCO_3 /ha (1150 dz/ CaO /ha) zugeführt.

Tab. 21 Einige Kenndaten von 11 Proben aus der neuen Ackerkrume (Entnahme März 1970)

Nr. der Probe	pH in NaCl	Carbo- nate %	Humus %	Ton %	Schluff %	Sand %
1	7,2	8,9	1,5	18	22	60
2	7,3	8,4	0,9	21	23	56
3	7,3	8,6	1,2	23	36	41
4	7,3	9,6	1,9	22	26	52
5	7,4	12,4	1,3	24	22	54
6	7,4	8,0	1,4	28	25	47
7	7,4	7,0	2,3	20	26	54
8	7,3	5,7	1,3	25	21	54
9	7,4	6,5	0,9	19	21	60
10	7,3	2,0	1,6	19	21	60
11	7,4	5,0	1,4	22	17	61

Der Gehalt des nicht meliorierten Bodens an laktatlöslichen Nährstoffen liegt bei K_2O mit Werten unter 7 mg/100 g Boden im schlecht versorgten Bereich. Die Phosphorsäureversorgung ist in der Krume mit einem Wert von ca. 20 mg als gut anzusehen. Die Ackerkrume des gepflügten Bodens weist zum selben Zeitpunkt (Frühjahr 1969) geringere Werte auf. Die gegebene Meliorationsdüngung reichte nicht aus, um den durch das Vergraben des A_p -Horizontes eingetretenen Verlust an Nährstoffen zu kompensieren.

4.6.2.2 Porositätsverhältnisse

Die Porositätsuntersuchungen ergaben eine Abnahme des Porenanteils $> 10 \mu$ in der neuen Krume, jedoch eine starke Zunahme desselben Porenanteils im tiefgepflügten Unterboden. Die

Abbildung 52 zeigt die Porengrößenverteilung des gepflugten Bodens im Vergleich mit der Kontrolle. Es handelt sich dabei jeweils um Mittelwerte aus 12 - 16 parallelen in den entsprechenden Tiefen. Da der Unterboden nach dem Tiefumbruch heterogen aufgebaut ist, weist er auch hinsichtlich der Porengrößenverteilung große partielle Unterschiede auf (Tab. 22).

Tab. 22 Porengrößenverteilung in % des Gesamtporenvolumens

Horizont	Entnahme- tiefe (cm)	GPV	Äquivalentdurchmesser in μ				
			>120	120-50	50-10	10-0,2	<0,2
<u>Gley-Pseudogley</u>							
A _p	10	59,9	4,1	1,7	6,6	27,5	20,0
S _{d1}	25	43,3	1,0	0,5	3,3	18,0	20,5
S _{d2}	40	50,8	1,2	1,0	2,1	22,3	24,2
IIG _{oc}	60	48,7	4,9	2,1	5,9	20,3	15,5
<u>tiefgepflügter Gley-Pseudogley</u>							
A _p	10	44,3	3,5	1,4	3,5	18,4	17,5
R ₁ (H)	25	69,3	16,7	2,7	3,1	30,1	16,7
R ₁ (S)	..	44,0	12,1	10,0	4,7	9,5	7,7
R ₁ (T)		47,9	1,7	0,1	3,2	17,5	25,4
R ₂ (H)	50	64,7	14,8	3,6	3,0	25,6	17,7
R ₂ (S)		45,2	10,2	15,2	7,0	6,0	5,8
R ₂ (T)		48,2	2,9	1,3	0,7	17,9	25,4

T = toniges Material, H = humoses Material, S = Sand

Besonders locker lagert der Sand, aber auch die humosen Partien sind sehr locker, während die tonigen Balken z.T. genau so dicht sind wie sie vor dem Tiefumbruch waren.

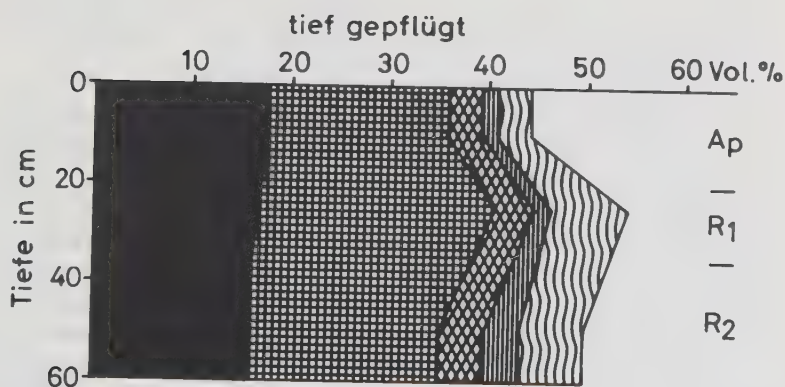
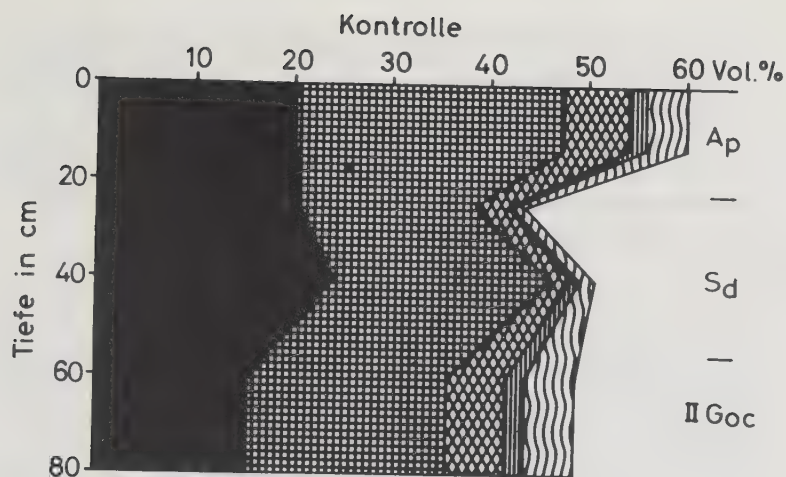


Abb. 52. Porengrößenverteilung am 24.3.69 in der Tiefpflugsanlage Heppenheim

Zwischen den Bodenbalken aus Humus- und Tonmaterial sowie Humus- und Sandmaterial sind Hohlräume unterschiedlichen Ausmaßes, die wir aber mit der Stechzylindermethode nicht erfassen konnten. Die zuletzt durchgeführten Untersuchungen (Dez. 1970) lassen im R_1 -Horizont im Vergleich zum R_2 - und R_3 -Horizont eine gewisse Verdichtung (Krumenbasisverdichtung nach SCHONHALS 1969) erkennen.

4.6.3.3 Infiltrationsmessungen

Der Einfluß des Riefumbruchs auf die Wasseraufnahmefähigkeit des Bodens wurde mit dem Doppelringinfiltrimeter untersucht. Die Untersuchungen sind im Herbst 1969 und Frühjahr 1970 durchgeführt worden.

Auffallend bei der Untersuchung im Herbst 1969 war die geringe Durchlässigkeit des A_p -Horizontes, der mit nur 35,5 mm in achtstündiger Versuchsdauer als fast undurchlässig zu bezeichnen ist. Der S_d -Horizont ließ dagegen in der ersten Stunde mehr als 80 mm versickern, und selbst nach 8 Stunden versickerten immer noch 40 mm/Stunde (Abb. 53).

Die Tatsache, daß der humusreiche A_p -Horizont undurchlässig ist, während der tonreiche dichte S_d -Horizont eine gute Durchlässigkeit aufweist, ist wie folgt zu erklären: Die Messungen sind nach den Erntearbeiten in einem durch das Befahren relativ dichten Zustand des Bodens durchgeführt worden. Außerdem war der Boden stark ausgetrocknet. Die eingeschlossene Luft im A_p -Horizont verleiht dem Boden große Benetzungswiderstände, welche die Einsickerung hemmen. Die gleiche Beobachtung haben auch KOHNLEIN und KNAUER (1958) auf einem rohhumusreichen Heidesandpodsol gemacht. Dagegen ermöglichen im S_d -Horizont die infolge der Austrocknung gebildeten Schrumpfrisse eine gute Durchlässigkeit. Diese Art der Versickerung bezeichnet man mit RODE (1959) als "Influktuation". Die achtstündige Versuchsdauer reichte nicht aus, das Schließen der Risse durch Quellung hervorzurufen. Anders verhält sich der tiefgepflügte Boden. Er trocknet zwar auch in den niederschlagsarmen Perioden aus, setzt einer Wiederanfeuchtung jedoch keine Widerstände entgegen,

da der humusreiche A_p-Horizont zum großen Teil untergepflügt wurde und die neue Ackerkrume überwiegend aus Sand besteht. Die Infiltrationsrate im Herbst 1969 deutete mit 11,2 - 22,7 mm/Stunde auf eine geringe bis mittlere Infiltration hin.

Die im Profil des tiefgepflügten Bodens schräg stehenden ehemaligen Horizonte wirken sich günstig auf die Durchlässigkeit aus. Die Wasserdurchlässigkeit nahm beträchtlich zu; sie wies allerdings wegen des heterogenen Bodenaufbaues partiell große Unterschiede auf. So schwankte im Herbst 1969 die Infiltrationsrate in 30 cm Tiefe zwischen 56 und 536 mm/Stunde.

Die hohe Infiltrationsrate von 71,6 mm/Stunde auf der Bodenoberfläche der Kontrolle täuscht im Frühjahr 1970 eine hohe Durchlässigkeit vor. In Wirklichkeit aber erfolgte keine vertikale Wasserbewegung, sondern das Wasser breitete sich wenige Minuten nach Beginn der Messung seitlich unter dem nur 10 cm tief in den Boden versenkten Ring aus, weil der Unterboden mit einer versickerten Wassermenge von nur 7 mm in sechsstündiger Versuchsdauer praktisch undurchlässig war. Die sehr schlechte Durchlässigkeit dieses Horizontes, wofür die Quellung nach den Winterniederschlägen verantwortlich zu machen ist, hemmte die Versickerung in den Unterboden, so daß sich das Wasser seitlich bewegte. Auf der Bodenoberfläche der Meßstelle III wurde der Doppelringinfiltrimeter 25 cm tief eingetrieben; er reichte also tiefer als die gepflügte Krume. Hier versickerte während der Versuchsdauer von sechs Stunden überhaupt kein Wasser. Unsere Untersuchungen bestätigen daher die bekannte Tatsache, daß die Wasserdurchlässigkeit des Bodens durch den Horizont mit der geringsten Permeabilität bestimmt wird.

Wie im Vorjahr so zeichnete sich bei der Messung im Frühjahr 1970 der tiefgepflügte Boden gegenüber der Kontrolle durch höhere Infiltrationsraten aus. Auffallend ist dabei der um ein Vielfaches höhere Wert der Bodenoberfläche gegenüber der Messung im Vorjahr, was auf die Auflockerung durch die Bodenbearbeitung im Herbst und die Frostwirkung im Winter zurückzuführen ist.

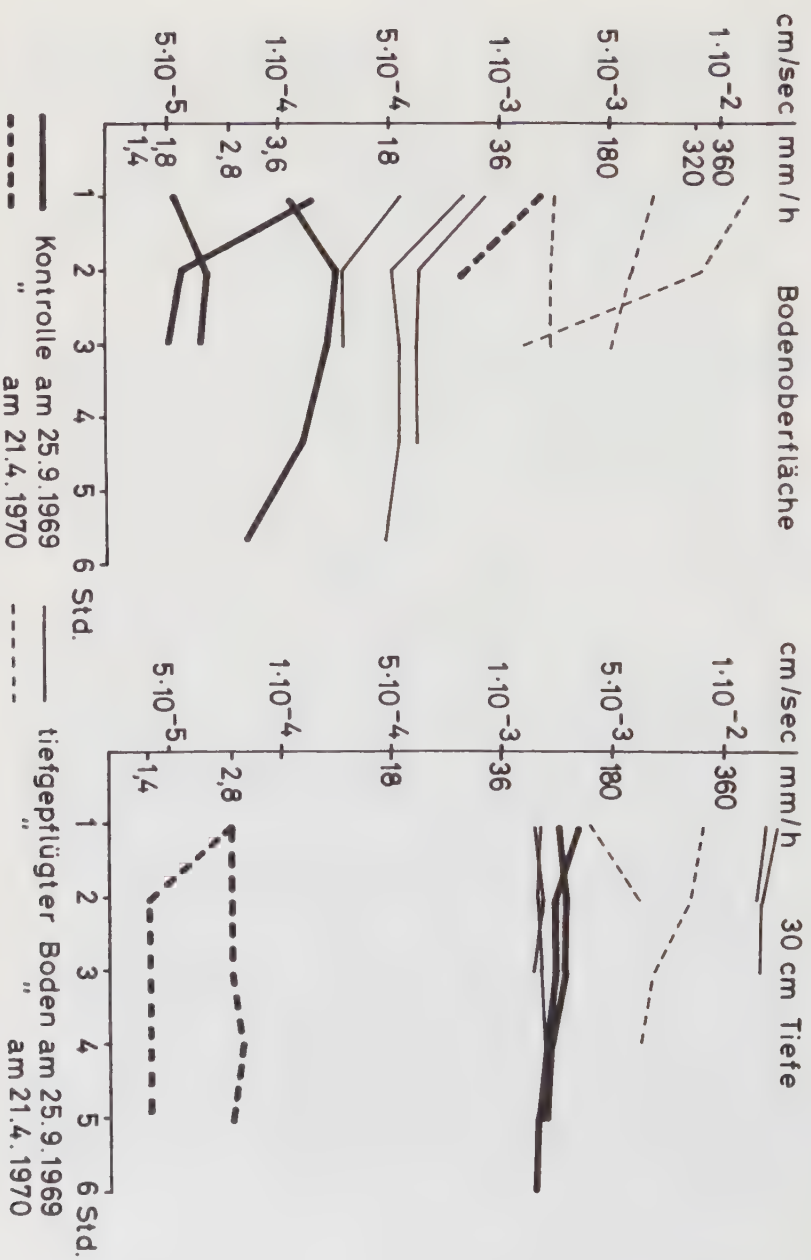


Abb.53. Infiltrationsverlauf in Heppenheim

4.6.3.4 Bodenfeuchteverlauf

Wassergehaltsuntersuchungen wurden während der Vegetationsperiode 1969 durchgeführt. Der tiefgepflügte Boden war in diesem Jahr mit Winterweizen bestellt, und als Kontrolle wurde ein angrenzender Roggenacker gewählt, da eine echte Kontrollparzelle mit gleicher Fruchtart nicht vorhanden war. Der Wassergehalt des nicht tiefgepflügten Bodens zeigte nur im A_p -Horizont größere Schwankungen durch stärkere Austrocknung in niederschlagsärmeren Perioden und Wiederbefeuchtung infolge der Niederschläge (Tab. 23).

Tab. 23 Bodenfeuchteverlauf (Gew.%) des Gley-Pseudogleys im Jahre 1969

Tiefe cm	14.5.	28.5.	11.6.	25.6.	8.7.	23.7.	6.8.	20.8.
0- 10	43,8	46,9	42,0	47,8	37,6	23,6	31,5	42,7
10- 20	38,0	35,2	33,3	42,0	37,1	25,6	29,0	29,9
20- 30	32,6	31,6	29,5	32,2	32,9	27,3	29,8	27,4
30- 40	31,5	32,6	28,4	32,8	33,6	30,1	32,0	28,3
40- 50	33,9	32,1	28,1	33,5	34,4	30,1	32,9	30,8
50- 60	32,3	28,3	28,8	30,9	31,4	29,7	31,8	31,9
60- 70	33,5	28,8	30,2	30,2	27,7	26,2	30,1	31,5
70- 80	33,7	23,0	28,3	24,4	27,6	26,7	26,8	29,2
80- 90	34,6	27,0	26,4	25,5	26,5	20,8	25,1	24,7
90-100	32,6	23,9	25,5	23,2	26,8	17,7	18,9	24,7

Am 23. 7. wurde sogar der permanente Welkepunkt beinahe erreicht. Der unterboden dagegen zeigte nur kleinere Schwankungen und auch in Trockenperioden noch hohe Wassergehalte, woraus gefolgert werden kann, daß er wenig durch-

wurzelt war und daher zur Wasserversorgung der Pflanzen nur wenig beitrug.

Die Untersuchung des Wassergehalts im tiefgepflügten Boden war wegen seiner heterogenen Beschaffenheit mit Schwierigkeiten verbunden. Für die Probenentnahme am 14. 5. wurden Schürfgruben angelegt; bei den späteren Untersuchungen konnten jedoch wegen des zu hohen Arbeitsaufwandes und der Flurschäden bei den Aufgrabungen nur noch Bohrstockproben entnommen werden, wobei allerdings versucht wurde, das tonreiche Material des früheren S_d -Horizontes, den humushaltigen ehemaligen Oberboden und den Sand des Untergrundes zu trennen. Die Ergebnisse sind in der Tab. 24 in Gew.% ausgeführt, da die Volumengewichte, die für die Umrechnung in Vol.% benötigt werden, eine zu große Streuung aufweisen. Die Tabelle zeigt, daß der stärkste Wasserverbrauch im humosen Material zu verzeichnen war und auch dem Sand bis in größere Tiefe (90 - 100 cm) relativ viel Wasser entnommen wurde, während das tonreiche Material auch im Hochsommer hohe Wassergehalte aufwies, allerdings im Bereich bis zu 50 cm Tiefe wesentlich niedriger als in der Kontrolle. Aus diesen Ergebnissen geht hervor, daß der tiefgepflügte Boden tiefer durchwurzelt wird als die Kontrolle, aber die Wurzelzugängigkeit der früheren Horizonte jeweils unterschiedlich ist.

Tab. 24 Bodenfeuchteverlauf (gew.%) des tiefgeflügten Gley-Pseudogleys im Jahre 1969

Tiere cm	14. 5.				8. 7.				23. 7.			
	Ton	Humus	Sand	Ø	Ton	Humus	Sand	Ø	Ton	Humus	Sand	Ø
0-20				23,5				12,7				13,1
20-30	32,9	45,1	9,4		25,3	19,9	14,1		19,8	.	2,4	
30-40	35,6	79,2	9,4		27,9	.	15,8		22,6	19,5	2,3	
40-50	31,6	73,0	7,6		35,8	24,3	9,4		24,9	28,6	3,8	
50-60	32,2	74,6	9,9		29,6	27,0	9,1		26,7	27,9	9,8	
60-70	32,8	83,5	9,9		30,4	23,3	6,4		28,4		12,4	
70-80	34,9	91,3	10,2		31,4	26,4	10,9		22,7		8,3	
80-90	.	74,1	9,1		35,5	26,8	9,8		26,8		10,9	
90-100	.	.	10,5		38,1		11,5		.		11,0	
6. 8.												
0-20				13,0								24,9
20-30	23,5	.	8,1		26,4	26,7	12,5					
30-40	24,1	.	7,8		23,2	30,4	.					
40-50	22,4	25,9	7,5		24,8	25,9	.					
50-60	22,3	24,8	11,6		26,5	26,8	17,1					
60-70	20,3	25,0	3,1		26,1	28,7	16,4					
70-80	24,0	.	3,9		26,3	26,7	18,2					
80-90	30,6	.	4,9		23,0	27,9	.					
90-100	30,8	.	8,6		.	.	17,6					

4.6.3 Zusammenfassung

In Heppenheim wurde im Jahre 1967 ein Grey-Pseudogley aus hochflutlehm über carbonathaltigem Sand 150 - 170 cm tief gepflügt. Wie in den Jahren 1969 und 1970 durchgeführten Untersuchungen brachten folgende Ergebnisse:

1. Durch das Hochpflügen des carbonathaltigen Sandes des Unterbodens gelang es, den Carbonatgehalt und die Bodenreaktion zu verbessern, die Textur zu verändern und damit die Bearbeitung zu erleichtern.
2. Das Unterpflügen des humusreichen A_p -Horizontes hatte die Abnahme der organischen Substanz im neuen A_p -Horizont zur Folge.
3. Durch das Unterfahren der verdichteten Horizonte und den Wechsel von Humus-, Sand- und Tonmaterial wurde das Einsickerungsvermögen, welches durch den staukörper (S_q -Horizont) stark gehemmt wird, verbessert. Messungen mit dem Doppelringinfiltrimeter brachten auf dem tiefgepflügten Boden eine um ein Vielfaches höhere Infiltrationsrate als auf dem nicht gepflügten.
4. Bei der tiefgepflügten Parzelle werden im Oberboden wegen der Unterbodenbeimischung die Porositätsverhältnisse ungünstiger als in den entsprechenden Tiefen der Kontrolle, dafür aber wesentlich besser in der Tiefe von 20 - 80 cm.
5. Mit der Schrägstellung der ursprünglichen Bodenhorizonte wurde erreicht, daß die Pflanzenwurzeln nach der Tiefe vordringen können, so daß für die Wasserversorgung der Pflanzen ein viel größerer Bodenraum zur Verfügung steht.

5. Zusammenfassung der Ergebnisse

Die in der vorliegenden Arbeit behandelten Untersuchungen sollten vor allem Aufschluß geben über die Wirkung des Tiefpflügens und Tieflockerns auf das Gefüge und den Wasserhaushalt von Parabraunerden und Pseudogleyen. Außerdem war beabsichtigt, den Einfluß der Meliorationskalkung auf das Gefüge festzustellen.

Zunächst werden die wichtigsten Ergebnisse der Untersuchungen über die Wirkung des Tiefpflügens von Parabraunerden zusammengefaßt:

1. Durch den Tiefumbruch wurde der Tongehalt der Krume in Heldenbergen und am Marienhof auf 20 - 23 %, aber auf dem sehr schluffreichen Boden von Beberbeck nur auf 10 - 11 % erhöht.
2. Der Humusgehalt im Oberboden nahm ab, da ein beträchtlicher Teil des früheren A_p -Horizontes untergepflügt wurde.
3. Der pH-Wert der neuentstandenen Krume ist im allgemeinen, besonders aber in Beberbeck niedriger als auf der Kontrolle, was auf die Beimischung von saurem Unterbodenmaterial zurückzuführen ist. In den Fällen jedoch, in denen der Pflug auch den carbonathaltigen C-Horizont erfaßte (erodierte Parabraunerde von Heldenbergen), oder wo nach dem Tiefpflügen eine Kalkung durchgeführt wurde (Marienhof und die Kalkvarianten von Beberbeck), ist ein pH-Anstieg festzustellen.
4. Das zuerst lockere Gefüge der tiefgepflügten Parabraunerden veränderte sich auf den einzelnen Standorten und in den verschiedenen Horizonten während des Untersuchungszeitraumes unterschiedlich. Die neue Ackerkrume zeigte in Beberbeck und Heldenbergen deutlich geringere, am Marienhof etwas geringere Gesamtporenvolumina und Grobporenanteile als die jeweilige Kontrolle. Das Gefüge der mit Ton angereicherten Krume erwies sich also gegenüber den äußeren Einflüssen (Druck von landwirtschaftlichen Geräten

und Maschinen, Regenaufprall usw.) weniger stabil als auf der Kontrolle. Dieses Ergebnis steht im Gegensatz zu der allgemeinen Erwartung. Die Stabilitätsabnahme dürfte eine Folge des geringeren Humusgehaltes sein.

5. Unterhalb der Ackerkrume (R_1 -Horizont) ist ebenfalls eine deutliche Abnahme des Gesamtporenvolumens festzustellen, die sich vor allem an dem Verlust von Grobporen bemerkbar macht. Die Folgen sind u.a. geringere Luftgehalte und niedrigere Infiltrationsraten. Aber auch der Bodenwiderstand ist in diesem Horizont größer als in der entsprechenden Tiefe der Kontrolle. Diese sog. Krumenbasisverdichtung war in Beberbeck und Heldenbergen stark ausgeprägt; auf der tiefgepflügten Parabraunerde des Marienhofes konnte sie jedoch nicht nachgewiesen werden. Die Gründe sind in der starken organischen Düngung und einer bodenschonenden Bewirtschaftung zu suchen.
6. Der R_2 -Horizont ist in allen Fällen lockerer als der n_t -Horizont der jeweiligen Kontrolle in der entsprechenden Tiefe (höheres Gesamtporenvolumen, höherer Grobporenanteil, geringerer Bodenwiderstand).
7. Die Wassergehaltsuntersuchungen ergaben keine großen Unterschiede zwischen den tiefgepflügten und den nicht tiefgepflügten Parzellen. Die im Frühjahr und nach starken Niederschlägen zu beobachtende schnellere Abtrocknung des tiefgepflügten Bodens ist immer auf einen nur wenige cm starken Oberflächenbereich beschränkt.
8. Die von GRASS auf den von uns untersuchten Standorten durchgeführten Ertragsermittlungen lassen keine eindeutige Wirkung des Tiefpflugs von Parabraunerden auf die Ertragsbildung erkennen, was auch aufgrund der bodenkundlichen Untersuchungsergebnisse verständlich wird. Im Gegensatz dazu hat GRASS auf einer tiefgepflügten Pararendzina (Heldenbergen) Mehrerträge ermittelt, die z.T. statistisch gut gesichert sind. Die bisher erzielten bodenphysikalischen Untersuchungs-

ergebnisse lassen allerdings keine nähere Erklärung dieses Befundes zu.

Gleichzeitig mit den Versuchen des Tiefpflügens wurde auf der staatsdomäne Beberbeck ein Tieflockerversuch auf der Parabraunerde angelegt, der zu folgenden Ergebnissen führte:

1. Die Eigenschaften des A_p -Horizontes wurden kaum verändert.
2. Auf den tiefgelockerten Versuchsparzellen konnte wie auf dem tiefgepflügten eine deutliche Krumenbasisverdichtung festgestellt werden.
3. In der Tiefe von etwa 40 - 80 cm war das Gefüge locker, das jedoch auf die höchstens 50 cm breiten Lockerungsgänge beschränkt blieb. In den Zwischenräumen konnte eine Gefügeänderung allerdings nicht nachgewiesen werden.
4. Das Tieflockern beeinflusst den Wassernaushalt der Parabraunerde nur unwesentlich.
5. Nach den Ertragsermittlungen von GRASS beeinflusst auch das Tieflockern die Ertragsbildung auf der Parabraunerde kaum.

Die Untersuchungsergebnisse über die Wirkung der Tiefenbearbeitung von Pseudogleyen lassen sich nicht ohne weiteres zusammenfassend darstellen, da sich die Böden der 3 untersuchten Standorte und die auf ihnen durchgeführten Meliorationsmaßnahmen stark unterscheiden. In Udenborn wurde ein Pseudogley aus Lößlehm über kiesigem Ton vor mehr als 50 Jahren mit dem Dampfflug bearbeitet; in Bleidenrod wurde ein Pseudogley aus Lößlehm über Basalt tief gelockert und in Heppenheim ein Gley-Pseudogley aus Hochflutlehm über carbonathaltigem Sand bis zu einer Tiefe von 1,70 m gepflügt.

Folgende wichtige Ergebnisse seien angeführt:

1. Während das Tieflockern in Bleidenrod kaum Einfluß auf die Eigenschaften der Krume hatte, ist in Udenborn und Heppenheim eine stärkere Veränderung eingetreten. In

Udenborn wurde vor allem das Gefüge verbessert. Die Gefügeverbesserung kam in einem höheren Gesamtporenvolumen und einem höheren Grobporenanteil und einer Abnahme des Bodenwiderstandes zum Ausdruck, obwohl der Humusgehalt immer noch geringfügig niedriger ist als auf der Kontrolle. Das bessere Gefüge ist vermutlich auf den höheren pH-Wert infolge Meliorationskalkung und die günstigeren Unterbodenverhältnisse in Verbindung mit einer größeren biologischen Aktivität zurückzuführen. In Heppenheim hat dagegen die neugeschaffenen Ackerkrume schlechtere Gefügeeigenschaften als die Kontrolle, was vor allem auf den zu geringen Humusgehalt zurückzuführen ist.

2. Der Unterboden der Pseudogleye ist durch die Tiefenbearbeitung in allen drei Fällen günstig beeinflusst worden (höherer Anteil an Grobporen, höhere Wasser- und Luftdurchlässigkeit, geringerer Bodenwiderstand). Dennoch ist in Bleidenrod und Heppenheim eine gewisse Krumenbasisverdichtung festgestellt worden, wobei einzuräumen ist, daß die jeweiligen Kontrollen in den entsprechenden Tiefen noch dichter waren. Eine Krumenbasisverdichtung, die nach der Tiefenbearbeitung von Pseudogleyen und auch in Drängräben von Marschböden von zahlreichen Autoren beschrieben wurde, konnte in Udenborn nicht nachgewiesen werden. Wie bei der Parabraunerde von Beberbeck sind auch im gelockerten Pseudogley von Bleidenrod die günstigeren Gefügeeigenschaften auf die schmalen Lockerungsgänge beschränkt.
3. Die Gefügeverbesserung wirkte sich günstig auf den Wasserhaushalt der Pseudogleye aus. Infolge der höheren Wasserdurchlässigkeit sickert das Niederschlagswasser aus dem Oberboden schneller in tiefere Horizonte. Dadurch trocknet der Boden nach ergiebigen Niederschlägen auch schneller ab. Mit einer früheren Bestellung im Frühjahr kann auf den meliorierten Böden von Udenborn und Heppenheim gerechnet werden.

Da die Tiefenbearbeitung in Udenborn und Bleidenrod nicht den gesamten Staukörper erfaßte, wird in niederschlagsreichen Perioden Sickerwasser im unteren Teil des Lockerungshorizontes, d.h. über der Sohle der Lockerungsgänge gestaut, was jedoch weniger nachteilig ist als die Stauunässe im Oberboden der Kontrolle. Im Gegensatz dazu wurde in Heppenheim der Staukörper unterfahren und aufgebrochen, so daß hier auch in tieferen Horizonten eine Stauwasseransammlung unterblieb.

4. Durch die Vermehrung des luftführenden Porenanteils und wahrscheinlich auch durch die Abnahme des Bodenwiderstands wurde u.a. auch die Durchwurzelung der tieferen Horizonte gefördert. Den Pflanzen steht also ein größerer Wurzelraum zur Verfügung. So beträgt die Wurzelraumkapazität für pflanzenverfügbares Wasser in Udenborn ca. 150 mm im meliorierten und nur etwa 60 - 70 mm im nicht meliorierten Boden. Dies äußerte sich bei den Feuchteuntersuchungen darin, daß im trockenen Sommer 1969 der meliorierte Boden bis etwa 80 cm stark austrocknete, während der Kontrolle unterhalb 30 - 40 cm nur wenig Wasser entzogen wurde. Auch in Heppenheim entstand aus dem physiologisch flachgründigen Gley-Pseudogley durch den Tiefumbruch ein tiefgründig durchwurzelbarer Boden, in dem allerdings die Pflanzen den tonreichen Partien nur wenig Wasser entnahmen.
5. In Udenborn konnten auf dem durch den Dampfpflug bearbeiteten Pseudogley statistisch sehr gut gesicherte Mehrerträge gegenüber der Kontrolle ermittelt werden.
6. Die in Udenborn mit der vor mehr als 50 Jahren durchgeführten Tiefenbearbeitung erzielten großen Erfolge zeigen, daß die günstigen Wirkungen einer richtig durchgeführten Tiefenbearbeitung nachhaltig sind, wenn durch sinnvolle Bewirtschaftung eine Ackerkrume mit günstigen Eigenschaften aufgebaut und die Bildung einer Krumbasisverdichtung verhindert wird.

Abschließend seien noch einige Ergebnisse, die mit der Meliorationskalkung gewonnen wurden, mitgeteilt:

Im allgemeinen wird mit großer Bestimmtheit angenommen, daß der Kalk einen günstigen Einfluß auf das Gefüge tiefgelokkerter und tiefgepflügter Böden ausübt. Unsere Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Im Tiefenbearbeitungsversuch Beberbeck konnte sowohl beim Tiefpflügen als auch beim Tieflockern kein Einfluß des Kalkes auf das Gefüge festgestellt werden. Allerdings ist dabei zu berücksichtigen, daß die hier behandelte Parabraunerde sehr schluffreich und arm an Ton ist.
2. Die Kalkmenge, die beim Tieflockern in den unteren Boden eingeleitet werden konnte, betrug maximal 32 dz CaO je ha; sie war damit zu gering. Aber auch die Verteilung des Kalkes im Bodenprofil war sehr ungleichmäßig, wie auch andere Autoren erwähnen.
Beim Tiefpflügen besteht zwar die Möglichkeit, größere Kalkmengen in den unteren Boden zu bringen, aber die Kalkverteilung ist auch hierbei nicht befriedigend.
3. In Beberbeck konnte eine bodenphysikalische Wirkung der Krumenkalkung mit Mengen von 100 bzw. 302 dz CaO je ha nicht festgestellt werden. Selbst der Einfluß auf die Bodenreaktion blieb drei Jahre nach der Kalkung auf die oberen 30 cm beschränkt. Die Verlagerung des Kalkes in tiefere Horizonte war also sehr langsam. Eine Regradation der Parabraunerde durch die Meliorationskalkung im Sinne von SCHMID fand nicht statt.

Zitierte Literatur

- AICHELE, H.: Methodik und Ergebnisse von Bodenwasserhaushaltsuntersuchungen in Lehmboden. - Z. Acker- und Pflanzenbau, 112, 184 - 196, 1961.
- ALLEN, M. und B. KURMIES: Das Verhalten des Wassers im Boden. In: Handbuch der Bodenlehre, 1. Ergänzungsband. Berlin, 1939.
- BADEN, W.: Die Wandlung der in den Emslandmooren obwaltenden gewachsenen Bodenprofile zu den verschiedenen Kulturprofilen. Wasser und Boden, 6, 269 - 271, 1954.
- : Zwei Jahrzehnte "Deutsche Sandmischkulturen" in Hochmooren. Lanwirtsch. Bl. Weser-Ems Nr. 37, 1957.
- BAIER, W.: Ergebnisse von Bodenfeuchteuntersuchungen in Stuttgart-Hohenheim. - Ber. Dtsch. Wetterdienst US-Zone, 6, 1 - 35, 1952.
- BÄTJER, D.: Der Wasserhaushalt Nordwestdeutschlands. - Schriftenreihe der Landwirtschaftskammer Weser-Ems, 4, 1968.
- BECKEL, A.: Einige Aspekte der kulturtechnischen Verbesserung von Bodentypen mit Tonverlagerung im rheinischen Mittelgebirge. - Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 4, 213 - 225, 1966.
- BECKER, E.: Stratigraphische und bodenkundliche Untersuchungen zu jungpleistozänen und holozänen Ablagerungen im nordlichen Oberrheintalgraben. - Diss. Frankfurt/M. 1963.
- BENECKE, P.: Über die Wasserbewegung in Parabraunerden aus Löss. Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Gesellschaft, 4, 163 - 180, 1965.
- BENECKE, P. und M. RENGEL: Entwicklung der zweckmäßigsten Methodik zur Erfassung und kartographischen Darstellung technisch verwertbarer bodenphysikalischer Kennwerte land- und forstwirtschaftlich wichtiger Böden Niedersachsens. - Ber. aus d. Nieders. LA f. Bodenforsch., Abtl. Bodenkunde, Hannover 1967.
- BOGUSŁAWSKI, B. v. und K. O. LENZ: Untersuchungen über mechanische Widerstandsmessungen mit einer Rammsonde auf Ackerböden. - Z. f. Acker- und Pflanzenbau (1. Mitt.) 106, 245 - 256, 1958, (2. Mitt.) 109, 33 - 48, 1959.

- MORCHERT, H.: Änderung des Bodenwassernaushaltes durch Melioration. Niveau der Wasseroewirtschaftung in der Landwirtschaft und komplexe Untersuchung der wirkenden Faktoren. - Kongress 1968 Budapest.
- : Untersuchungen der Bodengefügeveränderung von meliorierten Böden. - Geoderma, 1, 371 - 390, 1967.
- BRUNE, F.: Die Praxis der Moor- und Heidekultur. - Verlag P. Parey, Berlin und Hamburg, 1948.
- BÜRGENER, M.: Die naturräumlichen Einheiten auf Blatt 111 Arolsen. - Bundesanstalt für Landeskunde und Raumforschung. Bad Godesberg 1963.
- BURGHARDT, W.: Untersuchungen mittels der Doppelringinfiltrationsmethode über die Infiltrationseigenschaften der Böden des südlichen Hochlandes von Jordanien. - Diss. Gießen 1970.
- CZERATZKI, W.: Eine keramische Platte zur serienmäßigen Untersuchung von Porengrößen im Boden im Spannungsbereich bis ca. 1 Atm. - Z. f. Pflanzenern., Düng. u. Bodenk., 81, 50 - 56, 1958.
- : Wasserentnahme von Getreide und Zuckerrüben aus dem Boden. - Wasser und Nahrung, H. 2, 1959.
- : Einige Ergebnisse bodenphysikalischer Messungen an zwei Tiefpflugversuchen auf Parabraunerden im Braunschweiger Gebiet. - Landbauforsch. Völkenrode 18, 1 - 8, 1968.
- CZERATZKI, W. und F. SCHULZE: Veränderungen von Porositätsverhältnissen und pflanzlicher Wasserentnahme im Profil von zwei Parabraunerden aus Löss nach Tiefpflügen. - Mitt. Dtsch. Bodenkdl. Ges. 11, 57 - 67, 1970.
- EGERSZEGI, S.: Die Steigerung der Ertragsfähigkeit von lockeren Sandböden durch nachhaltige Melioration. - D. Dtsch. Landwirtschaft. 7, 594 - 602, 1956.
- : Die Hauptgesichtspunkte für die Durchführung einer Tiefdüngung auf Sandböden in Ungarn. - Tagungsb. DAJ Berlin, 28, 63 - 75, 1960.
- ERMICH, D.: Untersuchungen über den Einfluß verschiedener Bearbeitungsmethoden auf die physikalischen Eigenschaften, den Verunkrautungsstand und die Ertragsleistung eines Lösslehmbodens in Thüringen. - Diss. Leipzig 1962.

- ENZMANN, S. und G. SCHNURRBUSCH: Ursachen eines unzureichenden Meliorationseffektes von Rohrdränungen in einem primären Pseudogley. - Wiss. Z. d. Friedrich-Schiller Universität Jena. Mathematisch-Naturwissenschaft. Reihe Jg. 14., 105 - 110, 1965.
- FIEDLER, H.J. und H. REISSIG: Lehrbuch der Bodenkunde. - G. Fischer Verlag, Jena 1964.
- FRANZ, H: Feldebodenkunde. - Verlag G. Fromme + Co., Wien und München 1960.
- FUSS, F.: Wasserhaushalt der Böden Schleswig-Holsteins und seiner Bedeutung für die landwirtschaftliche Produktion. - Meteor. Rdsch. 16, 129 - 134, 1963.
- GEISLER, G.: Bodenluft und Pflanzenwachstum unter besonderer Berücksichtigung der Wurzel. - Arbeiten der Landwirtschaftlichen Hochschule Hohenheim, 40, 1967.
- : Über den Einfluß von Unterbodenverdichtungen auf den Luft- und Wasserhaushalt des Bodens und des Wurzelwachstums. - Landwirt. Forschung, Sonderheft 22, 61 - 69, 1968.
- GLIEMEROTH, G., KAHNT, G., und N. SIDIRAS: Einwirkungen von Unterbodenverdichtungen auf wurzelwachstum und Nährstoffhaushalt. - Landw. Forsch., Sonderheft 22, 70 - 77, 1968.
- GORA, A.: Einsatzerfahrungen mit dem kombinierten Tieflockerungs- und -kalkungsgerät. - Wiss.-Technischer Fortschritt (Feldwirtschaft), 6, 356 - 366, 1965.
- : Untersuchung der leistungsbegrenzenden Kennwerte azidischer sekundärer Pseudogleye aus verschiedenem geologischem Substrat und von Maßnahmen zu ihrer Regulierung unter besonderer Berücksichtigung der Gefügemelioration. - Diss. Jena 1967.
- : Mehrjährige Untersuchungsergebnisse über die komplexe Verbesserung zweier auf verschiedenem geologischem Substrat entwickelter azidischer Staugleyformen (Teil 1), Z. Landeskultur, 11, 83 - 96, 1970.
- GRASS, K.: Der Einfluß der Tiefenbearbeitung auf pseudovergleyte Parabraunerden und ihre Produktivität. - Diss. Gießen 1969.

- GOUDSCHE MASCHINENFABRIEK N.V.: Das holländische Verfahren für Bodensondierung (Prospekt). - Goudsche Maschinenfabriek N.V., Gouda, Holland 1965.
- GROSSE, B.: Über den Einfluß der Bodenerosion auf die Ertragsfähigkeit von Parabraunerden aus Löss. - Z. f. Pflanzenern., Düng. und Bodenkunde 102, 212 - 217, 1963.
- : Die Ertragsfähigkeit stark erodierter Parabraunerden aus Löss im gemäßigten Klima. - 8. Inter. Bodenkundl. Kongreß, Bukarest, 2, 729 - 735, 1964.
- HANUS, H.: Eine Methode zur serienmäßigen Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit. - Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Gesellschaft, 2, 159 - 167, 1964.
- HARRACH, T. und A. WOURTSAKIS: Die Meliorationsbedürftigkeit als Voraussetzung für den Erfolg der Tiefenbearbeitung bei Parabraunerden und Pseudogleyen. - Symposium über die Tiefenbearbeitung des Bodens. Gießen, 180 - 193, 1969.
- : Der Einfluß der Untertbodenmelioration auf die physikalischen Eigenschaften von Pseudogleyen. - Mitt. d. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 12, 176 - 178, 1971.
- HARTGE, K.H.: Formen und Verbreitung der im Boden vorkommenden Verdichtungen. - Z. Pflanzenern., Düng. und Bodenk., 108, 7 - 18, 1965.
- HOLLSTEIN, W.: Probleme der Tiefkultur auf der Geest Norwestdeutschlands. - Tagungsb. DAL Berlin, 28, 101 - 106, 1960.
- HORNEMANN, D.: Das Redoxsystem des Bodens unter besonderer Berücksichtigung der Auswirkungen des Vergrabens von A_h -Material beim Tiefpflügen staunasser Böden. - Diplomarbeit Gießen, 1968.
- HUSEMANN, G., H. WOLKEWITZ u. K. PAHLKE: Untersuchungen über die Auswirkung der Untergrundlockerung und -düngung auf ton- und schluffreichen Marschboden. - Z.f. Kulturtechnik, 3, 226 - 246, 1962.
- JOHN, G.: Eigenschaften von Böden mit verdichteten Horizonten aus verschiedenen Gesteinen. - Diss. Gießen 1963.
- KEGLER, J. und G. JACHIMSKY: Zur Methodik der Porengrößenanalyse an Böden mit Hilfe keramischer Saugplatten. - Bericht der Oberhessischen Gesellschaft für Natur- und Heilkunde zu

- Gießen, neue Folge, Naturwissenschaftliche Abteilung, 36, 47 - 54, 1968.
- KLAPP, E.: Lehrbuch des Acker- und Pflanzenbaues. - Verlag P. Parey, Berlin und Hamburg, 1967.
- KMOCH, H.G.: Die Luftdurchlässigkeit des Bodens. - Verlag Gebr. Borntraeger, Berlin 1962.
- KÖHN, M.: Korngrößenbestimmung mittels Pipettanalyse. - Tonindustrie-Zeitung, 55, 729 - 731, Berlin 1929.
- KÖHNLEIN, J. und N. KNAUER: Wasser- und Nährstoffbewegung aus der Ackerkrume in den Unterboden. - Z. Pflanzenern., Düng. u. Bodenkunde, 81, 1- 23, 1958.
- KOPP, E.: Die Permeabilität durchlässiger Böden, die Gliederung des Makroporenraumes und die Beziehungen zwischen Permeabilität und Bodentypen. - Z. Kulturtechnik u. Flurber., 6, 65 - 90, 1965.
- KRÜGER, W.: Über den Einfluß unterschiedlicher Bodenverdichtung auf einige bodenphysikalische Eigenschaften und das Pflanzenwachstum. - Thaer-Archiv, 14, 613 - 624, 1970.
- KUNTZE, H.: Altern Sandmischkulturen? - Landwirtsch. Bl. Weser-Ems Nr. 31, 32, 1968.
- : Tiefenlockerung und Bedarfsdränung. - Arbeitstagung über Unterboden- und Tiefenbearbeitung Gießen, 1 - 5, 1967.
- KUNZE, A.: Über die Wirkung organischer Tiefendüngung auf Sandböden. - Albrecht-Thaer-Archiv, 4, 527 - 540, 1960.
- : Die Wirkung des meliorativen Pflügens auf Struktur und Wasserhaushalt eines leichten Sandbodens. - Albrecht-Thaer-Archiv, 7, 673 - 698, 833 - 851 und 853 - 872, 1963.
- KURON, H. und L. JUNG: Unterbodenkalkung auf Ton-schiefer-verwitterungsböden. - Z. f. Acker- u. Pflanzenbau, 115, 144 - 159, 1962.
- KOWALD, R.: Technische, hydraulische und bodenkundliche Probleme der Tonrohrdränung insbesondere in Marschgebieten. - Habilitationsschrift Gießen 1968.
- : Gefügeänderungen im Drängaben. - Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. Bad. 11, 5 - 13, 1970.
- LEINDNER, H.: Die Abhängigkeit der Scherfestigkeit von Böden verschiedener mechanischer Zusammensetzung von der Dichte, der Porengrößenverteilung sowie dem Wassergehalt. - Albrecht-Thaer-Archiv, 7, 11 - 20, 1963.

- LÜDERS, R.: Eine Entwicklungsreihe von der Parabraunerde über den Pseudogley zum Podsol im Goldenstedter Flottsandgebiet. - Z. Pflanzenern., Düng. u. Bodenk., 110, 126 - 134, 1965.
- LÜTTMER, J. u. L. JUNG: Über die Eignung des Natrium-Pyrophosphates zur Dispergierung bei der mechanischen Bodenanalyse. - Notizbl. d. Hess. Landesamtes f. Bodenforsch. 83, Wiesbaden 1955.
- MANN, G.: Zum Einfluß der Durchlässigkeit des Drängrabenverfüllbodens auf den Eintrittswiderstand von Dränrohren. - Mitt. d. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 11, 14 - 22, 1970.
- MEHLICH, A.: Determination of cation and anion exchange properties of soils. - Soil Sci. 66, 429 - 445, 1948.
- MEIMBERG, R.: Die Auswirkung von Meliorationsmaßnahmen, insbesondere der Tiefenlockerung, auf bodenphysikalische Kennwerte staunasser Böden. - Diss. Gießen 1967.
- : Die Wirkung von Untergrundleckerung und Maulwurfdränung auf den Wasserhaushalt verdichteter Böden. - Bayer. Landw. Jahrb. Jg. 44, Sonderheft 3, 55 - 61, 1967.
- MERBITZ, H.: 300 Jahre Lockerung der Böden - und noch immer keine Klarheit. - Mitt. d. DLG, Jg. 82, 290 - 294, 1967.
- MEYENBURG, K. v.: Registrierende Druck- und Stechfestigkeitssonde für Kulturböden und andere stechbare Körper. - Internat. Mitt. Bodenk. 13, 1923.
- MEYER, B. u. K. SCHEFFER: Umgestaltung des jahreszeitlichen Wasserhaushaltes von Löss-Parabraunerden nach Tiefumbruch. - Mitt. d. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch., 11, 102 - 104, 1970.
- MICHAEL, G. u. W. BERGMANN: Bodenkohlensäure und Wurzelwachstum. - Z. Pflanzenern., Düng. u. Bodenk., 65, 180 - 194, 1964.
- MIREINARÉFIN, A.: Der Einfluß verschiedener Bodenbearbeitungsmaßnahmen auf Ertragsbildung und physikalische Bodeneigenschaften. - Diss. Gießen 1967.
- MITSCHERLICH, L. A.: Bodenkunde für Landwirte, Forstwirte und Gärtner. - Verlag P. Parey, Berlin und Hamburg, 1954.
- MUCKENHAUSEN, E., GERKHAUSEN, W., u. KERPEN, W.: Entwicklung und Eigenschaften der Böden auf den fossilen Verwitterungsdecken der Eifel. - Z. f. Acker- und Pflanzenbau 108, 201 - 222, 1959.

- MÜCKENHAUSEN, E.: Der Aufbau des Bodens und dessen Veränderung durch landwirtschaftlichen Pflanzenbau. - Vortragsreihe der 15. Hochschultagung der Landwirtschaftl. Fakultät der Univ. Bonn 1961.
- MÜCKENHAUSEN, E. und E. KLAPP: Grundsätzliches zur Tiefenbearbeitung des Bodens. - Mitt. d. DLG, Jg. 82, H. 13, 1967.
- MÜHLBAUER, H.: Neue Verfahren zur Bestimmung der Felddurchlässigkeit in grundwasserfreien Böden. - Mitt. aus d. Inst. f. Wasserwirtsch. u. landw. Wasserbau d. TH Hannover, 6, 66 - 94, 1964.
- MUNSELL: Soil color Charts. - Baltimore USA 1954.
- NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT f. BODENFORSCHUNG: Die Bodenkarte 1 : 25 000, Anleitung und Richtlinien zu ihrer Herstellung, Hannover 1965.
- NITZSCH, W. v.: Bessere Bodenbearbeitung. Berlin 1937.
- OLBERTZ, M. H.: Über die am Standort des Kulturbodens erfaßbaren Größen des Wasserhaushaltes. - Wissensch. Abhandlungen Nr. 23, Akademie-Verlag Berlin, 1957.
- PAPP, M.: Wasserhaushaltsuntersuchungen an holozänen Parabraunerden aus Würmzeitlichen Löss in Niedersachsen. - Diss. Göttingen 1963.
- PHILLIPS, R. E. und E. KIRKHAM: Mechanical impedance and corn seedling root growth. - Proc. Soil Sci. Soc. Amer. 26, 319 - 322, 1962.
- RAGER, K. Th., G. SCHMID u. H. WEIGELT: Die dreistufige Melioration von Pseudogleyen - eine Fortentwicklung der konventionellen Volldränung. - Wasser und Boden, Jg. 22, 297 - 302, 1970.
- RAUHE, K.: Nachhaltige Verbesserung der Ertragsfähigkeit leichter Böden durch Tiefenbearbeitungs- und Düngungsmaßnahmen. - D. Dtsch. Landwirtschaft. 12, 537 - 542, 1959.
- : Der Einfluß bestimmter Tiefkulturmaßnahmen auf die Ertragsfähigkeit leichter Böden in Trockenlagen. - Tagungsber. DAL Berlin Nr. 28, 11 - 38, 1960.
- : Einfluß der Tiefkultur auf die Wurzelentwicklung einiger Kulturpflanzen der leichten Böden. - Wiss. Abhandl. DAL Berlin, Nr. 51, 42 - 60, 1961.

- RENGER, M.: Verbesserung der physikalischen Eigenschaften von Parabraunerden aus Löß durch Tiefumbruch. - Mali-Briefe 9, Fachgeb. 1. Folge 3, 1 - 8, 1968.
- : Der Tiefumbruchversuch in Santeln, Kreis Alfeld. Ergebnisse der bodenphysikalischen Untersuchungen. - Besichtigungsfahrt des Arbeitskreises für Unterboden- und Tiefenbearbeitungsmaßnahmen in Niedersachsen am 24. und 25. Juni 1968.
- REUTER, G.: Gelände- und Laborpraktikum der Bodenkunde. - VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin 1962.
- RICHARDS, L. A.: Methods of measuring soil moisture tension. - Soil Sci. 68, 95 - 112, 1949.
- RID, H.: Über die Komplexwirkung der Untergrundlockerung. - Z. f. Acker- und Pflanzenbau 110, 393 - 424, 1959.
- : Versuche mit Untergrundlockerung. - Tagungsber. DAL Berlin, Nr. 28, 1960.
- RIESER, A.: Bodenkundliche, wasserhaushaltliche und wirtschaftliche Probleme bei der Melioration vor allem pseudovergleyter Böden in der westlichen Eifel. - Diss. Bonn 1970.
- RODE, A. A.: Das Wasser im Boden. - Akademie-Verlag Berlin, 1959.
- ROEMER, T.: Untergrundbearbeitung. - Der Forschungsdienst, Sonderheft 14, 1940.
- RÜBENSAM, E. und K. RAUHE: Ackerbau. - 2. Auflage, Berlin 1968.
- SCHACHTSCHABEL, P. und K. HARTGE: Untersuchungen über die Porengrößenverteilung an drei Marschprofilen. - Z. Pflanzenern., Düng. u. Bodenk. 81, 141 - 148, 1958.
- SCHAFFER, G.: Eine Methode der Abscherwiderstandsmessung bei Ackerböden zur Beurteilung ihrer Strukturfestigkeit im Felde. - Landw. Forsch. 13, 24 - 32, 1960.
- : Veränderungen der Bodenstruktur als Folge ackerbaulicher Maßnahmen. - Arbeiten der Landwirtschaftlichen Hochschule Hohenheim, 6, 1961.
- : Einfluß der Kalkung auf verschiedene Bodeneigenschaften. - Z. f. Kulturtechnik u. Flurber. Jg. 10, 301 - 312, 1969.
- SCHAMS, H.: Die Problematik der Wasseraufnahmefähigkeitsmessung in Labor- und Felduntersuchungen auf Mineralböden. - Diss. Berlin 1967.

- SCHEFFER, K. u. B. MEIER: Strukturelle Umgestaltung des Gesamt-Bodenprofils und die Neugestaltung der Ackerkrume beim Tiefumbruch von LÖß-Parabraunerden. - Mitt. d. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 11, 99 - 101, 1970.
- SCHEFFER, F., und P. SCHACHTSCHABEL: Lehrbuch der Bodenkunde. - 6. Aufl., F. Enke Verlag, Stuttgart 1966.
- SCHMID, G.: Verbesserung von Parabraunerden aus LÖß durch Primärlöß- und Kalkmeliorationen. - Mitt. Dtsch. Bodenk. Gesellsch. 4, 227 - 236, 1965.
- : Meliorationsdüngung der Ackerböden mit Calcium, Magnesium und Kalium. - Kali-Briefe, Fachgebiet 1, 1966.
 - : Basensorption und Basenauswaschung auf Ackerböden unter besonderer Berücksichtigung von Magnesium und Kalium. - Kali-Briefe, Fachgebiet 1, 1967.
 - : Über das ideale Ca : Mg-Verhältnis der Ackerböden. - Landw. Forsch. Bd. 21, 222 - 230, 1968.
 - : Einfluß der optimalen Basensättigung auf den Pflanzenertrag. - Kali-Briefe, Fachgebiet 1, 1969.
- SCHMID, G. und H. WEIGELT: Neue Wege bei der Aufwertung von Pseudogleyen. - Mitt. Dtsch. Bodenk. Gesellsch. 10, 137 - 146, 1970.
- SCHÖNHALS, E.: Die Böden Hessens und ihre Nutzung. - Abh. Hess. Landesamt Bodenforsch. 2, Wiesbaden 1954.
- : Zur Genese "schwerer" und verdichteter Böden. - Symposium über die Tiefenbearbeitung des Bodens, Gießen 1969.
- SCHULTE-KARRING, H.: Die Untergrundlockerung allgemein verdichteter Böden und ihre Wirkung auf Boden und Pflanzenwachstum. - Diss. Bonn 1957.
- : Die Bedeutung der Untergrundlockerung verdichteter Böden. - Mitt. d. DLG, Jg. 75, 1340 - 1342, 1960.
 - : Verbesserung verdichteter Böden durch Untergrundlockerung und Tiefendüngung. - Landw. Forsch., Sonderheft 17, 40 - 48, 1963.
 - : Drainage oder Untergrundlockerung. - Mitt. d. DLG, Jg. 78, H. 36, 1119 - 1122, 1963.
 - : Untergrundlockerung und Tiefdüngung auf staunassen Böden. - Mitt. d. DLG, Jg. 78, 1288 - 1292, 1963.

- : Neue Wege der Melioration strukturkranker Böden. - Zweijahresbericht der LLV Ahrweiler, 32 - 69, 1964.
- : Struktur- und Typwandel eines meliorierten Graulehms. - Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 4, 237 - 252, 1965.
- : Strukturranke Böden fordern wirksame Bodenmelioration. - Mitt. d. DLG, Jg. 81, n. 14, 590 - 596, 1966.
- : Die Untergrundlockerung und Tiefendüngung. - Arbeitstgg. Unterboden- u. Tiefenbearbeitung, Ahrweiler, 1966.
- : Die Verbesserung des Wasserhaushaltes staunasser Boden durch systematische Rohrdränung oder tiefe Bodenlockerung. - Bayer. Ldw. Jahrb., Jg. 44, Sonderheft 3, 43 - 54, 1967.
- : Achtjährige Untersuchungsergebnisse über die Auswirkung der Tiefendüngung im untergrundgelockerten Staunässeboden. - Arbeitstgg. Unterboden- und Tiefenbearbeitung, Gießen 1967.
- : Die technischen Probleme der Untergrundlockerung. - Landtechnik 4, 96, 1967.
- : Die Unterbodenmelioration - Ergebnisse 12jähriger Untersuchungen. - Auszug aus Zweijahresbericht der LLV Ahrweiler, 1968.
- : Technische Voraussetzungen für eine wirksame Untergrundlockerung. Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. Bd. 8, 99 - 112, 1968.
- : Unterbodenbearbeitung fördert die Ertragssicherheit. - Mitt. d. DLG, Jg. 84, 1175 - 1178, 1969.
- : Stand der Entwicklung neuer Lockerungs- und Tiefendüngungsgeräte. - Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 10, 147 - 150, 1970.
- : Die Veränderung der physikalischen Verhältnisse durch tiefe Bodenlockerung und der Einfluß bestimmter Faktoren auf die Wirksamkeit der Maßnahme. - Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 11, 68 - 70, 1970.
- SEKERA, F.: Die Strukturanalyse des Bodens. - Z. Bodenk. u. Pflanzenernähr. 6, 259 - 288, 1938.
- SCHURMANN, J. J.: Influence of soil density on root development and growth of oats. - Plant and Soil, 22, 352 - 374, 1965.
- SCHWARZ, K.: Möglichkeiten zur Steigerung der Bodenfruchtbarkeit durch meliorative Maßnahmen. - Wiss. Z. d. Karl-Marx-Univ. Leipzig, Math.-Nat. Reihe, 12, 661 - 668, 1963.

- SCHWARZ, K.: Zur Problematik und den Aufgaben der Melioration schwerer Böden. - Wiss. Z. d. Friedrich-Schiller- Univ. Jena, Math.-Nat. Reihe 14, 3 - 8, 1965.
- SCHWARZ, K. u. A. GORA: Meliorationsmöglichkeiten mit Hilfe eines kombinierten Tieflockerungs- und Tiefkalkungsgerätes. - Dt. Agradtechnik, 13, 115 - 117, 1963.
- SIDIRAS, N.: Ergebnisse zweijähriger Untersuchungen über Wirkung einer meliorativen Tiefenbearbeitung auf 3 Bodentypen. - Diss. Hohenheim 1969.
- SOHNE, W.: Reibung und Kohäsion bei Ackerböden. - Grndl. d. Landtechnik, H. 5, 64 - 80, 1953.
- STEINMETZ, H.J.: Ein Beitrag zum Problem der Bodenmelioration in Hessen. - Z. Kulturtechnik u. Flurber. Jg. 6, 321 - 331, 1965.
- : Untergrundmelioration. - Landw. Forsch., Sonderheft 22, 89 - 93, 1968.
- STEINMETZ, H.J. und E. BRAUER: Empfehlungen f. Bodenverbesserungen in Hessen. - Hrsg. Hess. Minister f. Ldw. u. Forsten 1968.
- STRAUB, R.: mikrobiologische Ergebnisse von drei Ahrweiler Tiefenlockerungs- und Tiefendüngungsversuchen. - Arbeitstagung über Unterboden- und Tiefenbearbeitung, Gießen 36 - 45, 1967.
- STRAUB, R. und E. SCHOLZ-KÖNIG: Die Untergrundlockerung und ihre Wirkung auf die Bodenorganismen. - Auszug aus Zweijahresbericht der LLV Ahrweiler 1968.
- TACKETT, J.L. und R.W. PEARSON: Oxygen requirements of cotton, seedling roots for penetration of cores. - Proc. Soil Sci. Amer. 28, 600 - 605, 1964.
- TEIPEL, R.: Der Einfluß einer tieferen Bodenbearbeitung auf Bodeneigenschaften und Ertrag. - Z. f. landw. Vers.- u. Untersuchungswesen 2, 261 - 281, 1956.
- THUN, K., HERRMANN, R. und E. KNICKMANN: Methodenbuch, Band I, Die Untersuchung von Böden. - 3. Aufl. Radebeul und Berlin 1955.
- UHLIG, S.: Die Untersuchung und Darstellung der Bodenfeuchte. - Ber. Dtsch. Wetterdienst US-Zone 4, 1 - 39, 1951.
- : Acht Jahre Bodenfeuchtebestimmungen des Deutschen Wetterdienstes. - Meteor. Rdsch. 10, 163 - 170, 1957.

- ALTMANN, A.: Beitrag zur Frage der Tieflockerung allgemeinverdichteter Böden. - Diss. Bonn 1957.
- VETTER, H. und S. SCHARAFAT: Die Wurzelverbreitung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen im Unterboden. - Z. Acker- und Pflanzenbau, 120, 275 - 298, 1964.
- WELLMER, F.: Die Ausbreitung der Pflanzenwurzeln im Boden in Abhängigkeit von genetischen und ökologischen Faktoren. - Arbeiten der landwirtschaftlichen Hochschule Hohenheim, Bd. 32, 1965.
- ZIEMER, F.H. und K. MÜCKENBERGER: Einfluß der Kalkung auf Ertrag und Futterwert des Heues. - Landw. Forsch. 7, 17 - 24, 1954.

Es ist mir eine angenehme Pflicht, meinem verehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. E. Schönhalz, dem Direktor des Instituts für Bodenkunde und Bodenerhaltung, für die Überlassung des Themas und die Förderung der Untersuchungen sowie für die kritische Durchsicht des Manuskriptes zu danken.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr. T. Harrach für seine großzügige Unterstützung, die ständige Hilfsbereitschaft, seine vielen wertvollen Ratschläge sowie für die Überlassung der Fotoaufnahmen.

Auch Herrn Agraringenieur G. Werner bin ich für seine Hilfe bei der Gelände- und Laborarbeit zu großem Dank verpflichtet.

Schließlich danke ich allen Institutsangehörigen, die mir in irgendeiner Weise bei der Arbeit behilflich waren.

Dem Deutschen Akademischen Austauschdienst danke ich für das Stipendium.

Lebenslauf

Am 12. 2. 1941 wurde ich als Sohn des Landwirtes Nikolaos Wourtsakis und seiner Ehefrau Athena, geb. Tsakali, in Prosotsani/Griechenland geboren.

Von 1947 - 1953 besuchte ich die Volksschule und von 1953 - 1959 das Gymnasium in Prosotsani. Hier legte ich im Juli 1959 das Abitur ab. Von diesem Zeitpunkt bis zu meiner Abreise nach Deutschland im August 1960 beschäftigte ich mich mit der Landwirtschaft meiner Eltern.

Zum Sommersemester 1962 wurde ich an der Justus Liebig-Universität, Fachrichtung Veterinärmedizin, immatrikuliert.

Mit dem Sommersemester 1964 nahm ich das Studium der Landwirtschaft in Gießen auf. Im November 1967 beendete ich mein Studium mit der Diplomprüfung.

Das landwirtschaftliche Praktikum habe ich in Krofdorf - Gleiberg (Hessen) abgelegt.

Seit Dezember 1967 bin ich am Institut für Bodenkunde und Bodenerhaltung mit der Anfertigung der vorliegenden Arbeit beschäftigt.

